

VŠB - Technická univerzita Ostrava

Fakulta strojní

Katedra výrobních strojů a konstruování

**Aplikace technické diagnostiky pro
kontrolu technického stavu
průmyslových strojů**

Application of Technical Diagnostics
for Evaluating the Technical Condition of
Industrial Machinery

Student:

Erik Dobiáš

Osobní číslo:

DOB0109

Vedoucí bakalářské práce:

Ing. David Šeděnka

Ostrava 2020

Zadání bakalářské práce

Student: **Erik Dobiáš**
Studijní program: B2341 Strojírenství
Studijní obor: 2301R023 Technická diagnostika, opravy a udržování
Téma: Aplikace technické diagnostiky pro kontrolu technického stavu
průmyslových strojů
Application of Technical Diagnostics for Evaluating the Technical
Condition of Industrial Machinery

Jazyk vypracování: čeština

Zásady pro vypracování:

V rámci bakalářské práce se zabývejte problematikou technické diagnostiky výrobního zařízení. Rozeberte tuto problematiku, navrhnete a zvažte vhodné metody pro sledování jejich technického stavu. Popište přístrojovou techniku a softwarové nastavení pro tuto aplikaci. Proveďte potřebná měření a vyhodnocení naměřených dat.

V rámci zadání zpracujte:

1. Rešerši a analýzu dané problematiky.
2. Ideově technický návrh řešení dané problematiky.
3. Zpracujte aplikaci na daný objekt.
4. Proveďte konkrétní vyhodnocení.

Podrobnější specifikaci zadání nebo jeho úpravy provede vedoucí práce.

Rozsah práce min. 35 stran textu.

Seznam doporučené odborné literatury:

HELEBRANT, F., ZIEGLER, J., MARASOVÁ, D. *Technická diagnostika a spolehlivost I - Tribodiagnostika*. 1. vydání, Ostrava: VŠB-TU Ostrava, 2001, 158 s. ISBN 80-7078-883-6

JENČÍK, J. – VOLF, J. A KOL.: *Technická měření*. ČVUT v Praze 2003, 212 s., ISBN 80-01-02138-6

HELEBRANT, F. – ZIEGLER, J.: *Technická diagnostika a spolehlivost II – Vibrodiagnostika*. VŠB – TU Ostrava, Ostrava 2004, 1. vydání, 178 s., ISBN 80 – 248 – 0650 – 9.

TŮMA, J.: *Zpracování signálů získaných z mechanických systémů užitím FFT*. Sdělovací technika Praha 1997, 174 s., ISBN 80-901936-1-7.

KREIDL, M., ŠMÍD, R.: *Technická diagnostika*. BEN – technická literatura, Praha 2006, 1.vydání, 408s.,

ISBN 80-7300-157-6

KREIDL, M. a kol.: *Diagnostické systémy*. ČVUT v Praze, Praha 2001, 352 s., ISBN 80-01-02349-4

BLATA, J. – Juraszek, J. *Metody technické diagnostiky, teorie a praxe. Metody diagnostyki technicznej, teoria i praktyka*. Ostrava: REPRONIS, s.r.o., 2013, 133 stran, ISBN 978-80-248-2997-5

Podkladové materiály - ADASH s.r.o., Brüel Kjaer, SKF Ložiska a.s.

ČSN ISO 690 *Bibliografické citace. Obsah, forma a struktura*. Praha: Český normalizační institut, 1996. 32 s.

FS_SME_05_003 *Zásady pro vypracování diplomové (bakalářské) práce* Ostrava: Vysoká škola Báňská – Technická univerzita Ostrava, 2018. 20 s.

Formální náležitosti a rozsah bakalářské práce stanoví pokyny pro vypracování zveřejněné na webových stránkách fakulty.

Vedoucí bakalářské práce: **Ing. David Šeděnka**

Datum zadání: 20.12.2019

Datum odevzdání: 18.05.2020



doc. Ing. Jiří Fries, Ph.D.
vedoucí katedry



prof. Ing. Ivo Hlavatý, Ph.D.
děkan fakulty

Místopřísežné prohlášení studenta

Prohlašuji, že jsem celou bakalářskou práci včetně příloh vypracoval samostatně pod vedením vedoucího bakalářské práce a uvedl jsem všechny použité podklady a literaturu.

V práci jsem použil interní údaje o technických parametrech strojů získaných od firmy VUHŽ a.s., Dobrá, firma s jejich zveřejněním souhlasí.

18.5.2020

V Ostravě dne

Dobrá

Podpis studenta

Prohlašuji, že:

- jsem si vědom, že na tuto moji závěrečnou bakalářskou práci se plně vztahuje zákon č. 121/2000 Sb. Zákon o právu autorském, o právech souvisejících s právem autorským a o změně některých zákonů (dále jen Autorský zákon), zejména § 35 (Užití díla v rámci občanských či náboženských obřadů nebo v rámci úředních akcí pořádaných orgány veřejné správy, v rámci školních představení a užití díla školního) a § 60 (Školní dílo),
- beru na vědomí, že Vysoká škola báňská – Technická univerzita Ostrava (dále jen „VŠB-TUO“) má právo užít tuto závěrečnou bakalářskou práci nekomerčně ke své vnitřní potřebě (§ 35 odst. 3 Autorského zákona),
- bude-li požadováno, jeden výtisk této bakalářské práce bude uložen u vedoucího práce,
- s VŠB-TUO, v případě zájmu z její strany, uzavřu licenční smlouvu s oprávněním užít dílo v rozsahu § 12 odst. 4 Autorského zákona,
- užít toto své dílo, nebo poskytnout licenci k jejímu využití, mohu jen se souhlasem VŠB-TUO, která je oprávněna v takovém případě ode mne požadovat přiměřený příspěvek na úhradu nákladů, které byly VŠB-TUO na vytvoření díla vynaloženy (až do jejich skutečné výše),
- beru na vědomí, že podle zákona č. 111/1998 Sb., o vysokých školách a o změně a doplnění dalších zákonů (zákon o vysokých školách), ve znění pozdějších předpisů - že tato bakalářská práce bude před obhajobou zveřejněna na pracovišti vedoucího práce a v elektronické podobě uložena a po obhajobě zveřejněna v Ústřední knihovně VŠB-TUO, a to bez ohledu na výsledek její obhajoby.

18.5.2020

V Ostravě dne

Dobias

Podpis studenta

Poděkování

Rád bych poděkoval vedoucímu mé bakalářské práce Ing. Davidu Šeděnkovi za jeho pracovní výpomoc při odběrech vzorků a v tribologické laboratoři VŠB-TUO. Dále děkuji firmě VÚHŽ a.s. a zejména vedoucímu tamní údržby Martinu Bílkovi za zprostředkování této spolupráce a výpomoc při odběrech vzorků.

ANOTACE BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

DOBIÁŠ, E. Aplikace technické diagnostiky pro kontrolu technického stavu průmyslových strojů: bakalářská práce. Ostrava: VŠB – Technická univerzita Ostrava, Fakulta strojní, Katedra výrobních strojů a konstruování, 2020, 69 s. Vedoucí práce: Šeděnka, D.

Bakalářská práce je soustředěna na kontrolu technického stavu strojů a následné podání doporučení pro jejich údržbu ve firmě VÚHŽ a.s. V úvodu jsou shrnuty základy údržby a rozdělení technické diagnostiky. Práce se dále věnuje podrobnému zpracování teorie tření, opotřebení a mazání. Následně jsou popsány jednotlivé metody tribodiagnostiky a v závěru se nachází praktická část, jež obsahuje vyhodnocení výsledků měření prováděných v laboratořích VŠB – TUO. Nakonec jsou dodány i protokoly z jednotlivých laboratorních měření.

Klíčová slova: údržba, diagnostika, porucha, tribologie, tribodiagnostika, mazivo, olej,

ANNOTATION OF BACHELOR THESIS

DOBIÁŠ, E. Application of Technical Diagnostics for Evaluating the Technical Condition of Industrial Machinery: Bachelor thesis. Ostrava: VŠB – Technical University of Ostrava, Faculty of Mechanical Engineering, Department of Production Machines and Design, 2020, 69 p. Thesis head: Šeděnka, D.

The bachelor's work is focused on checking technical condition of machines and then making recommendations for their maintenance in the company VÚHŽ a.s. In the introduction, the basics of maintenance and division of technical diagnostics are summarised. The work goes on to analyze the theory of friction, wear, and lubrication. The individual methods of tribodiagnosics are then described and a practical part is found at the conclusion, which includes an evaluation of the results of measurements carried out in the VSB-TUO laboratories. Finally, protocols from individual laboratory sweeps are also supplied.

Key words: maintenance, diagnostics, failure, tribology, tribodiagnosics, lubricant, oil,

Úvod.....	11
1. Informace o firmě VÚHŽ a.s.....	12
2. Údržba.....	13
2.1 Strategie údržby (metody řízení údržby).....	13
2.2 Technická diagnostika.....	13
3. Tribologie.....	15
3.1 Tribologický systém.....	15
3.2 Kontaktní procesy.....	16
3.3 Tření.....	16
3.3.1 Kluzné (smykové) tření.....	17
3.3.2 Kapalinové tření.....	18
3.3.3 Válivé tření.....	18
3.4 Opotřebení.....	19
3.4.1 Abrazivní opotřebení.....	20
3.4.2 Adhezivní opotřebení.....	20
3.4.3 Erozivní opotřebení.....	20
3.4.4 Korozivní opotřebení.....	21
3.4.5 Únavové opotřebení.....	21
3.4.6 Kavitační opotřebení.....	22
3.4.7 Vibrační opotřebení.....	22
3.5 Mazání.....	22
3.5.1 Maziva.....	23
3.5.2 Aditiva.....	25
3.5.3 Fyzikální vlastnosti maziv.....	27
3.5.4 Chemické vlastnosti maziv.....	28
4. Tribodiagnostika.....	28
4.1 Metody pro určení degradace maziva.....	29
4.1.1 Kinematická viskozita.....	29
4.1.2 Bod vzplanutí a hoření.....	30
4.1.3 Obsah vody.....	31
4.1.4 Číslo alkality a kyselosti.....	31
4.1.5 Conradsonův karbonizační zbytek.....	32
4.1.6 Kapková zkouška.....	32
4.1.7 Celkové znečištění.....	33
4.1.8 Spektrální analýza	33
4.1.9 Kolorimetrie (MPC).....	34
4.2 Metody pro stanovení koncentrace otěrových kovů.....	34

4.2.1	Atomová spektrofotometrie.....	34
4.2.2	Ferografie.....	35
4.2.3	Polarografie.....	35
4.2.4	Rychlá analýza motorových olejů (RAMO).....	35
5.	Výsledky provedených zkoušek.....	36
5.1	Měřicí stroje použity k vyhodnocení odebraných vzorků.....	36
5.2	Válcovna – mazací okruh.....	38
5.3	Válcovna – hydraulický okruh.....	40
5.4	Hydraulický systém krokové nahřívací pece ve válcovně.....	42
5.5	Hydraulický systém vyklápění indukční pece ve slévárně.....	44
5.6	Hydraulický tuširovací lis ŽĐAS GO – 2003.....	46
6.	Závěr	49
	Použitá literatura.....	50
	Seznam příloh.....	54
	Přílohy.....	55

Seznam použitých zkratk a symbolů

VÚHŽ	Výzkumný ústav hutnictví železa
PEO	Plazmová elektrolytická oxidace
CVD	Chemické depozice par
PACVD	Plazmové chemické depozice par
PVD	Fyzikální depozice par
NLGI	Národní institut mazacích tuků
AW	Aditiva proti opotřebení
EP	Aditiva pro extrémní tlak
TAN	Celkové číslo kyselosti
CCT	Conradsonův karbonizační zbytek

Úvod

Úkolem technické diagnostiky je zjišťovat technický stav stroje. S její pomocí dokážeme včas odhalit některé závady a vyhnout se tak havárii, která může vést k odstávce provozu společnosti a také k finančním ztrátám.

Tato bakalářská práce se soustředí na kontrolu strojů pomocí tribodiagnostiky, jež spadá do bezdemontážní diagnostiky spolu s dalšími metodami, jako je vibrodiagnostika, termodiagnostika nebo akustická diagnostika. Dále se vyskytují metody nedestruktivní diagnostiky, kam patří vizuální kontrola, kontrola ultrazvukem, radiografická metoda, magneticko-prášková metoda, kapilární metoda nebo infračervená defektoskopie.

Tribodiagnostika zjišťuje technický stav stroje a jeho maziva. Principem je podrobení maziva různým tribologickým zkouškám, jejichž výsledky mohou naznačit závady stroje nebo degradaci maziva. K těm nejzákladnějším zkouškám patří běžná vizuální kontrola, měření kinematické viskozity, obsahu vody, množství mechanických nečistot nebo také bod vzplanutí. Základem každé tribodiagnostické kontroly je zajistit tzv. referenční vzorek nebo alespoň technické specifikace nepoužitého maziva, jenž se nachází v daném stroji. Podle vlastností referenčního vzorku lze zjistit odchylky výsledků zkoušek a také možné vady stroje či maziva. Existují také obecně dané normované hodnoty, které by oleje měly či naopak neměly dosahovat, aby nedocházelo ke špatné funkci.

V laboratořích VŠB-TUO se zkoušely hydraulické a mazací oleje z pěti různých strojů. Byly provedeny zkoušky na základní důležité parametry. Patří mezi ně např. měření kinematické viskozity, kvantitativní zjištění obsahu vody, množství mechanických nečistot, spektrální analýza a prvková analýza.

Cílem bakalářské práce je zjistit technický stav průmyslových strojů firmy VÚHŽ a.s. v Dobré u Frýdku-Místku a popřípadě dodat možná doporučení pro vylepšení údržby a provozu těchto zařízení.

1. Informace o firmě VÚHŽ a.s. (výzkumný ústav hutnictví železa)

Tato firma sídlí v Dobré u Frýdku-Místku a zaměřuje se na speciální hutní výrobu a dodávání automatizačních technologií pro tento průmysl. Jejich aktivita však zasahuje do více oborů, jako jsou strojírenství, energetika nebo automobilový průmysl. Společnost zaměstnává zhruba 300 zaměstnanců, a to v šesti různých pracovních střediscích: Automatizace, Válcovna, Slévárna, Nástrojárna, Povlakovací centrum a Laboratoře a zkušebny [1].

Středisko automatizace se zaměřuje na hladinoměry pro kontinuální lití oceli a další produkty s tím související. Věnuje se jejich vývoji, výzkumu, výrobě a také testování. Uvádí tyto produkty do provozu a následně je také udržuje. [1]

Válcovna se věnuje výrobě různých druhů speciálních válcovaných profilů, které slouží jako polotovary pro další zpracování. Nejčastěji je výroba zaměřena na zhotovování profilů pro automobilový průmysl. [1]

Středisko Slévárna vyrábí odlitky pomocí technologie odstředivého lití z litin, ocelí a legovaných materiálů. Mezi vyráběné produkty patří odlitky z chromových ocelí, redukovací a kalibrační válce, krmivářské a potravinářské mlecí válce a motorové vložené válce. Odlitky jsou dále upravovány ve střediscích Nástrojárna a Povlakovací centrum.[1]

Středisko Nástrojárna se věnuje výrobě přesných nástrojů a strojních součástí. Dále umožňuje provádění zakázek na dodání technologických zařízení v podobě jednoúčelových strojů. Nabízí také zpětné inženýrství nebo repase forem. Mezi jeho aktivity spadají i služby pro ostatní střediska VÚHŽ. [1]

Povlakovací centrum je zaměřeno na povlakování, leštění, nitraci a spolu s Nástrojárnou na výrobu nástrojů. Povlakovací technologie PVD, PACVD a CVD zajišťují zakázky nejen z průmyslu, ale i z různých oborů, jako jsou zdravotnictví nebo potravinářství. Mezi činnost tohoto střediska se řadí i opravy nástrojů a forem nebo měření a analýzy. [1]

Laboratoře a zkušebny se zabývají službami v oboru materiálových analýz, zkušebnictví a certifikace hutních výrobků typu 3.2 dle EN 10208. Mezi činnosti patří materiálové, korozní a procesní inženýrství včetně projektů výzkumu a vývoje. Nabízí také PEO anodizaci slitin hliníku a hořčíku nebo také titanu dle AMS 2488 pro zdravotnický a letecký průmysl [1].

2. Údržba

Soubor činností prováděných za cílem udržet dané strojní zařízení v provozuschopném stavu nebo stroj do tohoto stavu navrátit. Podmínkou pro údržbu je tzv. udržovatelnost, což je schopnost objektu vyhýbat se poruchám za použití předepsané údržby [2].

2.1 Strategie údržby (metody řízení údržby)

Reaktivní (nápravná) údržba je nejzákladnější typ údržby, kdy stroj běží bez jakýchkoli zásahů až do té doby, než nastane porucha. Dále se stroj opraví a znovu uvede do provozu, ve kterém zůstane až do další poruchy [3].

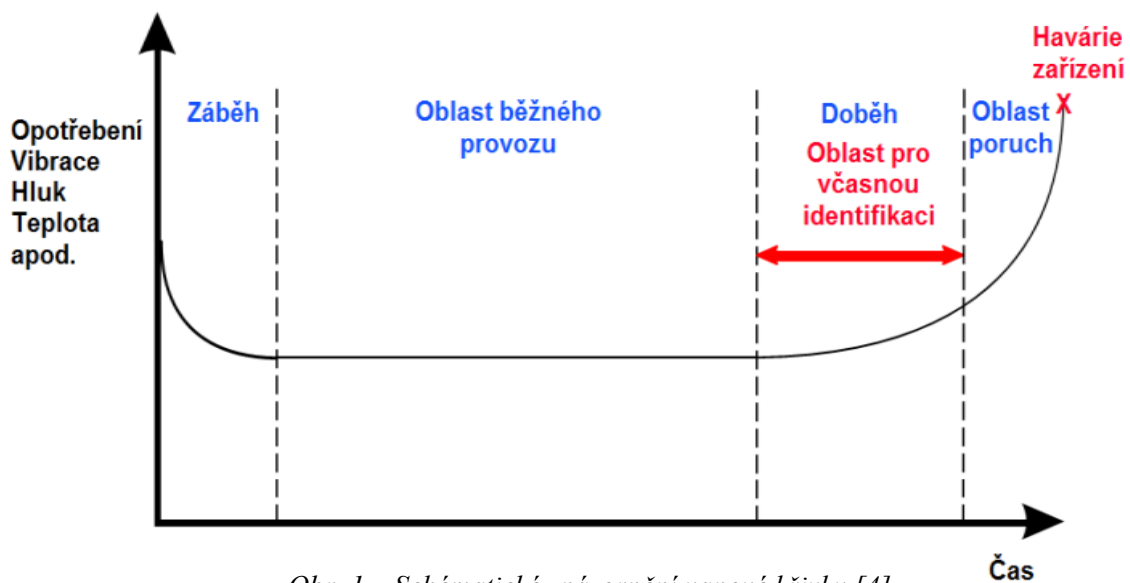
Preventivní údržba funguje na principu pravidelných kontrol. Management údržby daného podniku plánuje pravidelné odstávky, které slouží k údržbě stroje. Při těchto preventivních prohlídkách se odstraní závady a provede se celková kontrola zařízení. To umožňuje částečně předcházet neočekávaným poruchám [3].

Prediktivní údržba je vyšší úroveň údržby, kdy se provádí pravidelné kontroly stroje pomocí různých metod technické diagnostiky. Podle výsledků měření se dále naplánuje odstávka, při které se vyřeší konkrétní problém, či závada. Výsledkem je vysoká účinnost v předcházení nečekaným poruchám [3].

Proaktivní údržba je nejvyšší úroveň údržby, kdy jsou zpracovávány informace ze všech možných zdrojů popisujících stav stroje (metody technické diagnostiky, senzory, obsluha stroje apod.). Tyto informace jsou využity pro plánování odstávek k údržbě. Proaktivní údržba se také zajímá o vznik daného problému ve stroji a neřeší jen jeho odstranění. To zabraňuje opakovanému vzniku dané závady [3].

2.2 Technická diagnostika

Průběh životnosti strojů popisuje tzv. vanová křivka [Obr. 1]. Úkolem technické diagnostiky je za pomoci různých diagnostických metod zjistit v jaké části křivky se zařízení nachází a případně prodloužit nebo umožnit setrvání v provozuschopném stavu. Cílem toho je předcházet nečekaným poruchám a zabránit tak finančním ztrátám nebo nedodržení kvality výroby. Technická diagnostika se dělí na nedestruktivní a bezdemontážní diagnostiku.



Obr. 1 – Schématické znázornění vanové křivky [4].

Nedestruktivní diagnostika:

- metody zjišťující vnitřní nebo vnější vady materiálu [3]:
 - vizuální kontrola
 - kontrola ultrazvukem
 - radiografická metoda
 - magneticko prášková metoda
 - kapilární metoda
 - infračervená defektoskopie

Bezdemontážní diagnostika:

- testová diagnostika a její hypotézy [3]:
 - testování vybraných rozhodujících technických parametrů,
- provozní diagnostika:
 - tribodiagnostika – zjišťování technického stavu stroje na základě vyhodnocování stavu maziva.
 - vibrodiagnostika – zkoumají se a následně se vyhodnocují sledované vibrace stroje. Dle různých frekvencí vibrování se lokalizuje vznikající problém ve stroji.
 - termografie – za použití termokamery a jiných měřících přístrojů se sleduje teplotní spektrum daného objektu, podle kterého poznáme případné závady.
 - akustická diagnostika – dle akustického projevu stroje a jeho částí dokážeme najít vznikající problém.

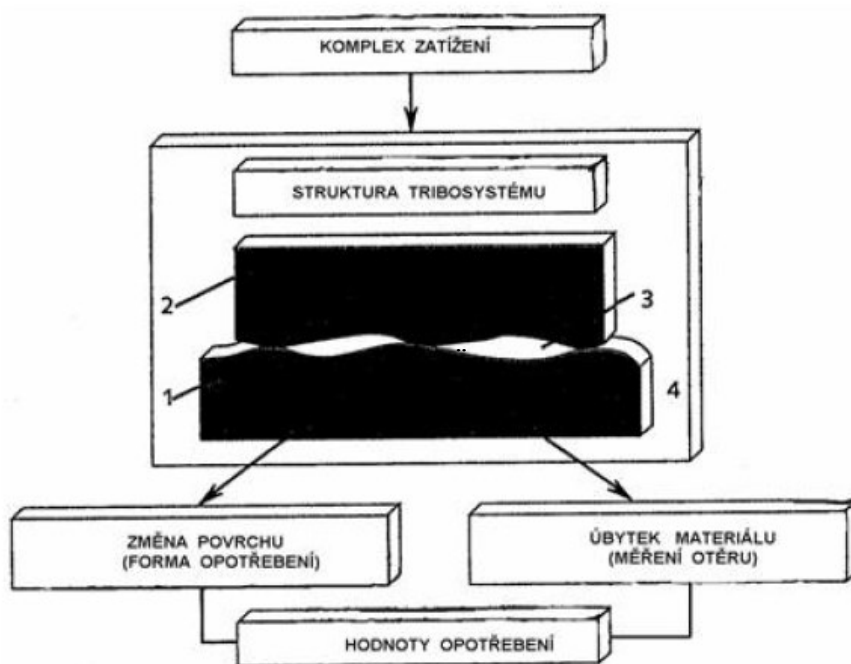
V praxi se využívají kombinace různých metod technické diagnostiky za účelem zvýšení úspěšnosti při zjištění závady. Takové kombinace nazýváme Multiparametrická diagnostika.

3. Tribologie

Je to věda zabývající se třením, opotřebením a mazáním dvou po sobě klouzajících ploch. Základem je tzv. tribologický systém, který obecně popisuje kontakt mezi dvěma plochami.

3.1 Tribologický systém

Jedná se o přírodní nebo uměle vytvořený systém, ve kterém vzniká tření v důsledku vzájemného pohybu minimálně dvou ploch. Systém pojednává o jednom samostatném třecím procesu a skládá se ze čtyř částí [Obr. 2]. Pokud jedna z částí 1, 2 nebo 3 v systému chybí, pak systém nazýváme redukovaný tribologický systém. V reálném prostředí to může být např.: letadlo – vzduch, loď – voda, ocel – ocel (bez maziva) a další [5].



Obr. 2 – Schématické znázornění tribologického systému [6].

1 – třecí plocha č.1, 2 – třecí plocha č.2, 3 – mezilátka (mazivo), 4 – okolní prostředí

přírodní tribologické systémy [7]:

- klouby člověka či zvířat
- tekoucí řeka
- sesuv půdy
- kořeny rostlin apod.

umělé tribologické systémy [7]:

- obecně systémy vytvořené člověkem

Složením dvou a více tribologických systémů se vytvoří tzv. tribotechnický systém. V reálném prostředí to mohou být např. převodovky, motory apod.

Tribologické procesy jsou procesy vzniklé v tribologickém systému probíhající v daném prostoru a čase. Mezi procesy patří jevy jako proměny energií, ztráty třením, deformace a další.[5]

3.2 Kontaktní procesy

Kontakt představuje nepostradatelnou část pro plnění funkce tribologického systému, bez něj by nedocházelo k tření a tím pádem by systém nemohl fungovat. Kontaktní procesy s sebou přinášejí i nežádoucí vlivy na materiál, jako je deformace či opotřebení ploch apod. [5].

Druhy kontaktů [5]:

- Pružný (elastický) kontakt
- plastický kontakt

3.3 Tření

Přírodní jev, jehož vznik je zapříčiněn relativním pohybem minimálně dvou ploch vzájemně se dotýkajících. Tato definice však zahrnuje pouze tření vnější, pro tření vnitřní neplatí.[5]

Vnitřní tření nastává ve vnitřních vrstvách materiálu neboli tření působící pouze na jedno těleso. Tento jev vytváří v daných materiálových vrstvách síly, které zabraňují vzájemnému pohybu.[8]

Tření jako jev potřebný – v reálném prostředí se vyskytuje spousta případů, kdy se tření projevuje jako nepostradatelný prvek pro funkci. Dalo by se říct, že bez tření by život na Zemi ani nebyl možný.

- Pneumatika – vozovka, svěrné spojení, brzdy dopravních prostředků a další [5]

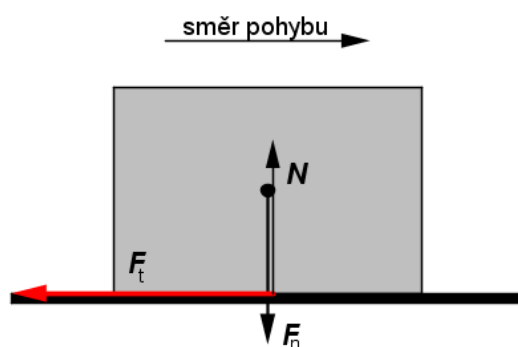
Tření jako jev nepotřebný – tření má pochopitelně i své nevýhody, a to v mnoha případech. Zejména se jedná o nechtěné jevy jako je nárůst teploty, opotřebení či ztráty energie a další.

- Převody, ložiska, pístní kroužky – válec a další [5]

3.3.1 Kluzné (smykové) tření

Druh tření, při kterém po sobě tělesa kloužou. Při tomto tření může dojít k pružným, ale i plastickým deformacím nerovností povrchů. Důležitou roli hraje povrchová úprava (drsnost), zvolené materiály, přítomnost různých nežádoucích látek a další faktory.

Třecí síla F_t vždy působí proti pohybu součásti a síla zatížení F_n kolmo k povrchu. V důsledku působení síly F_n se vytvoří reakce N , která má opačný směr a působiště v místě dotyku s povrchem.[9]



Obr. 3 – Příklad kluzného tření [9].

Koeficient tření – bezrozměrná fyzikální veličina, která popisuje poměr mezi třecí silou a silou zatížení tělesa při vzájemném pohybu dvou těles [8,10].

$$\mu = \frac{F_t}{F_n} [-] \quad (1)$$

Materiál č.1	Materiál č.2	Staticky	Dynamicky
pryž	asfalt (suchý)	-	0,5-0,8
pryž	asfalt (mokrý)	-	0,25-0,75
pryž	beton (suchý)	-	0,6-0,85
pryž	beton (mokrý)	-	0,45-0,75
ocel	ocel	0,78	0,42
ocel	bronz hliníkový	0,45	-
ocel	mosaz	0,51	0,44
ocel	grafit	0,21	-
ocel	teflon	0,04	-

Tab č.1 Součinitelé tření mezi různými materiály [10].

Tření za klidu – tření, které vzniká mezi dvěma statickými neboli nehybnými tělesy. Dle tabulky č.1 nebo dále dle [10] se můžeme přesvědčit, že koeficient tření u statických těles je převážně větší než u dynamických, z toho vyplývá, že je těžší uvést těleso do pohybu, než těleso v pohybu udržet (z hlediska tření). Můžeme se také setkat s názvem hraniční tření [5].

3.3.2 Kapalinové tření

Kapalina má tendenci vyplňovat nerovnosti povrchu a tím zahlazovat plochu těles. Pokud umístíme kapalinu mezi dvě vzájemně se pohybující tělesa a tloušťka tzn. mazacího filmu bude dostatečná, pak bude veškeré tření probíhat právě v dané kapalině. Tím docílíme změny z vnějšího na vnitřní tření. Míru vnitřního tření v kapalině přímo popisuje tzv. viskozita (viz kapitola 3.5.3).

Oblasti tření – situace, které mohou nastat při různých tloušťkách mazacího filmu [5]:

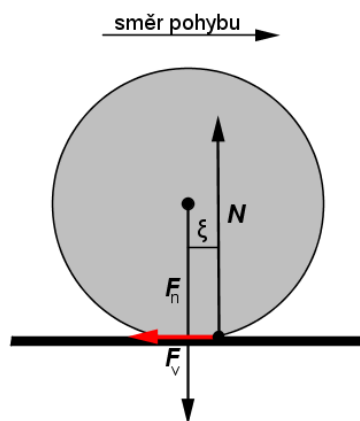
- Tření pevných látek – žádný mazací film, třecí tělesa jsou v přímém kontaktu.
- Smíšené tření – mazací film je neúplný, tzn. třecí tělesa se v některých místech dotýkají.
- Kapalinové tření – mazací film je dostatečně tlustý na to, aby dokonale oddělil dvě třecí tělesa a tření probíhá pouze v mezilátce.
- Mezní tření – jde o hraniční tloušťku mazacího filmu pohybující se na hraně smíšeného a kapalinového tření

Plynové tření – funguje na stejných principech jako kapalinové tření, avšak roli mezilátky zaujímá plyn místo kapaliny [5].

3.3.3 Valivé tření

Tento druh tření je charakterizován jako odpor vůči válejícímu se tělesu. Valivé těleso se deformuje anebo deformuje plochu, po které se odvaluje a tím zvětšuje třecí plochu. Tření se zvětšuje s velikostí třecí plochy. Při odvalování tělesa nedochází ke smyku. Valivé tření je přibližně 10–20x menší než kluzné (smykové) a proto se často ve strojních zařízeních využívají tzv. válivá ložiska.

Síla zatížení F_n působí kolmo na povrch, vytváří opačnou reakci N , která má působiště na povrchu, ale je posunuta o tzv. rameno válivého odporu ζ . F_v je označení pro sílu, kterou potřebujeme k odvalování tělesa [11].



Obr. 4 – příklad valivého tření [11].

Koeficient valivého tření vypočteme ze vztahu momentové rovnováhy:

$$F_v \cdot R = \xi \cdot F_n \quad (2)$$

Materiál č.1	Materiál č.2	Rameno valivého odporu [mm]
pryž	asfalt	2,5-4,5
pryž	beton	1,5-2,5
ocelové kolo	kolejnice	0,4-0,5
nekalená ocel	nekalená ocel	0,05-0,06
kalená ocel	kalená ocel	0,001-0,005
litina	litina	0,005-0,006

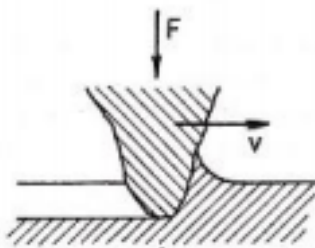
Tab. 2 – součinitelé valivého tření mezi různými materiály [8]

3.4 Opatření

Jev, který vzniká při působení třecích procesů, kdy dochází k plastickým deformacím a tím k ubývání materiálu na funkčních plochách. V důsledku opotřebení může dojít k poruše zařízení, proto se minimalizuje pomocí mazání (viz kapitola 3.5) a jiných prostředků. Opatření se vyskytuje v některých případech i jako jev potřebný, například u vrtání, obrábění, broušení a dalších činností. Rozděluje se do několika různých druhů, přičemž v reálném prostředí působí jak jednotlivě, tak i v kombinacích.

3.4.1 Abrazivní opotřebení

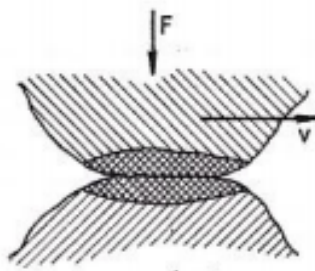
Abrazivní opotřebení se dělí na dva typy. Opotřebení dvou těles a tří těles. U dvou těles opotřebení nastává ve chvíli, kdy je jedno z těles vyrobeno z tvrdšího materiálu, a tak dochází k plastickým deformacím na povrchu druhého (měkkého) tělesa. Vyskytuje se například u obrábění. U tří těles jde o mechanické nečistoty mezi dvěma povrchy, které opotřebovávají jednu nebo obě plochy. Může se vyskytovat například u ložisek při vniknutí cizích částic. [12]



Obr. 5 – Schématické znázornění abrazivního opotřebení [13].

3.4.2 Adhezivní opotřebení

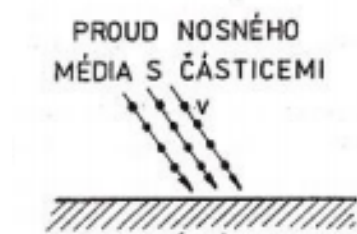
V důsledku vysoké četnosti povrchových nerovností dochází při relativním pohybu dvou těles k jejich styku. Při působení velkých sil se mezi nerovnostmi vytvoří tzv. mikrospoj, který způsobuje ohřev. Ten může spustit chemickou reakci (difuzi), která podpoří rychlost opotřebení. Při přerušení mikrospoje dochází k odtržení částic materiálů. Lidově se toto opotřebení nazývá zadírání a vyskytuje se například u kluzných ložisek se špatným mazáním [14].



Obr. 6 – Schématické znázornění adhezivního opotřebení [13].

3.4.3 Erozivní opotřebení

Proces, při kterém je povrch mechanicky opotřebováván působením média, které s sebou nese pevné částice. Velikost opotřebení se odvíjí od mnoha faktorů, jako jsou materiál částic a povrchu, velikost částic, tvar částic, úhel dopadu částic a další. Toto opotřebení se může vyskytovat například u parních turbín, kdy jsou lopatky opotřebovávány dopadem kapek nebo u trubkového vedení (záhyby, ventily atd.) [15].



Obr. 7 – Schématické znázornění erozivního opotřebení [13].

3.4.4 Korozní opotřebení

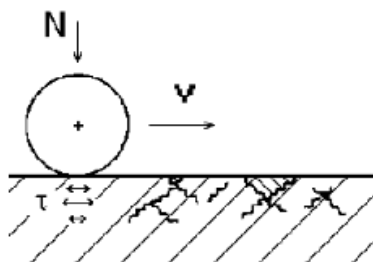
Jde o rezivění nebo oxidaci povrchu z důvodu působení okolních vlivů jako je kyslík, voda, kyselé prostředí apod. Tento jev je nechtěný a dá se mu zabránit několika způsoby. Například správnou volbou materiálů, ochranou proti korozi (povlakování, povrchová úprava, mazání atd). V důsledku působení koroze dochází ke změně vlastností materiálu a může docházet k předčasné únavě materiálu. Toto opotřebení lze vidět například na karoseriích automobilů, na které působí posypová sůl, voda a kyslík [12].

3.4.5 Únavové opotřebení

Při opakovaném namáhání součásti dochází k trhlinám v materiálu, které se dále šíří a spojují. Tyto trhliny mohou vést až k vyламování částí povrchů. U tohoto opotřebení velice záleží na provozních podmínkách stroje. Pokud je součást namáhána příliš velkým napětím, které přesahuje mez kluzu materiálu, pak se únava projeví rychleji a nazývá se nízkocyklová únava. Při napětích pod mezí kluzu jde o vysokocyklovou únava neboli je zapotřebí více cyklů k únavě materiálu [16].

Pitting je velice rozšířeným typem únavového opotřebení a jedná se o vniknutí maziva do povrchových trhlin, kde je v důsledku dalšího pohybu součástí uvězněno. Mazivo dosáhne vysokých tlaků a rozšiřuje trhlínu. Tím se vytváří důlky na povrchu. Vyskytuje se například u válivých ložisek [16].

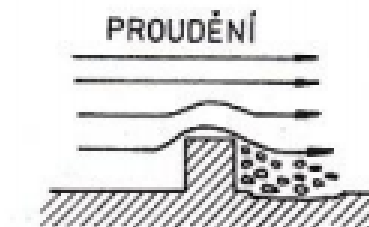
Spalling je dalším typem únavy. Při opakovaném působení vysokých tlaků na součást dochází v materiálu ke smykovým napětím, které vytvoří trhliny pod povrchem. S postupem času se trhliny proderou na povrch a způsobí odlupování povrchových vrstev [16].



Obr. 8 – Schématické znázornění únavového opotřebení [16].

3.4.6 Kavitační opotřebení

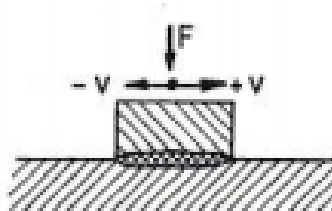
Toto opotřebení vzniká u součástí pracujících v kapalině nebo s kapalinou. Dochází k praskání tzv. kavitačních bublin, které jsou vytvořeny v důsledku klesnutí tlaku pod hodnotu tlaku nasycených par dané kapaliny. Obsahem bublin jsou právě tyto páry. V místech vzrůstu tlaku dochází k prasknutí bublin, a to způsobuje hydrodynamické rázy, které poškozují povrch. Kavitační opotřebení se nachází například u čerpadel, trubkového vedení apod. [16].



Obr. 9 – Schématické znázornění kavitačního opotřebení [13].

3.4.7 Vibrační opotřebení

Druh opotřebení, které vzniká mezi dvěma zatíženými, relativně se pohybujícími součástmi. Pohyb je kmitavého charakteru s velmi malou amplitudou. Mezi povrchy dochází k uvolňování částic, které oxidují a poškozují plochy součástí. Toto opotřebení bývá u různých druhů uložení, ložisek, hřídelí a dalších [16].



Obr. 10 – Schématické znázornění vibračního opotřebení [13].

3.5 Mazání

Mazání je nepostradatelnou součástí provozu stroje, kdy se pomocí maziva snižuje tření a opotřebení. Mezi funkční plochy je vpravován tzv. mazací film, jenž plochy odděluje a přenáší tření do maziva. Z pohledu mazacího filmu se mazání dělí na tři druhy: celofilmové, hraniční a smíšené [17].

Celofilmové mazání je takové, kdy je mazací film dostatečný na to, aby kompletně oddělil dvě třecí plochy. Dělí se na hydrodynamické a elastohydrodynamické. Hydrodynamické mazání nastává při pohybu, kdy po sobě plochy kloužou a jsou od sebe odděleny tlustou vrstvou mazacího filmu. Elastohydrodynamické mazání se vyskytuje u

valivého pohybu. Plochy jsou odděleny výrazně slabším filmem, který je však pod větším tlakem. Mazací film elasticky deformuje plochy a tím je odděluje [17].

Hraniční mazání pracuje s nekompletní vrstvou mazacího filmu, která neodděluje funkční plochy, ale nechává je v kontaktu. Přesto omezuje opotřebení, a to za pomoci tzv. aditiv, které zůstávají na površích a chrání plochy. Tento druh mazání se využívá v situacích, kdy není možné udržovat dostatečnou tloušťku filmu k oddělení ploch. Například u strojů s častým zapínáním a vypínáním [17].

Smíšené mazání je kombinací celofilmového a hraničního mazání. Mazací film odděluje funkční plochy, ale ne úplně. Některé výstupky nerovností povrchů nejsou odděleny a stále se dotýkají. Opotřebení je sníženo opět pomocí aditiv, které zůstávají na površích kontaktních ploch [17].

3.5.1 Maziva

Mazivo má několik důležitých funkcí při běhu stroje. Tou nejdůležitější je vytvoření dostatečného mazacího filmu mezi plochami a tím snížení tření. To vede k dalším funkcím, jakými jsou odvádění tepla, snižování opotřebení, snižování ztrát energie, ochrana proti korozi, odvádění nečistot nebo utěsňování. [18].

Skupenství maziv:

- pevná
- plastická
- plynná
- kapalná

Pevná maziva jsou využívána pro extrémní podmínky jako jsou vysoké teploty (850 °C), nízké teploty (-200 °C) nebo například vakuum. Pevné látky s vrstevnatou krystalickou mřížkou, jež mají nízkou pevnost ve střihu, se vkládají mezi třecí plochy. Vnitřní vrstvy maziva po sobě při zatížení kloužou a to způsobuje, že mazivo má větší tendenci ke střihu než třecí plochy a tím se snižuje tření. Aplikují se nejčastěji ve formě prášku, mazacích tuků či pevných mazacích filmů. Hlavními požadavky na pevná maziva jsou odolnost proti opotřebení, chemická stálost, odolnost proti korozi a silná adhezní schopnost. Mezi nejpoužívanější pevná maziva se řadí grafit, nitrid boritý, borax a polytetrafluorethylen (teflon) [19].

Plastická maziva najdou své uplatnění v mnohých případech. Ať už jde o různá prostředí jako prach, voda, sucho, koroze nebo různé druhy zatížení či rychlosti. Jsou tvořena mazacími oleji s nízkou viskozitou, které jsou zahuštěny pomocí tzv. zahušťovadel. Různá použití vyžadují různé konzistence těchto mazadel. Dle číslování NLGI (National

Lubricating Grease Institute) rozlišujeme devět různých konzistencí. Od tekutých (000) až po velmi tuhá (6) [18, 20].

- **Zahušťovadla** jsou buď anorganická, která jsou na mýdlové bázi, anebo organická, která jsou na mýdlové nebo nemýdlové bázi. Pojí se s mazacími oleji, aby vytvořili plastická maziva. Olej se za provozu dostává z prostoru mřížkované struktury a tím vytváří mazací film [18,20].

Plynná maziva jsou díky svým vlastnostem poměrně jednoduchá maziva. Nedochází u nich k žádné degradaci, změně mazacích schopností a jiných problémů, které se vyskytují u maziv kapalných. Dají se využít v širokém spektru teplot, jelikož jejich viskozita roste s teplotou. Největší nevýhodou je však je jejich únosnost. Plyny se lehce stlačují, a to vede ke kontaktům třecích ploch. Proto se někdy kombinují s pevnými mazivy. Aby byl mazací film co nejstabilnější, musí být dodržena přesná montáž, plochy velice hladké a prostor dobře utěsněn. Mezi využívané plyny patří dusík, kyslík, hélium či obyčejný vzduch. Používají se u aerostatických nebo aerodynamických ložisek. Obecně se vyskytují u strojů, které pracují s materiálem náchylným na kontaminaci mazivem jako potravinářské, farmaceutické či stroje elektronického průmyslu [19].

Kapalná maziva se využívají ze všech typů nejčastěji. Je to díky velikému množství vlastností, které pokrývají potřeby většiny strojů. Mezi ně patří například dobrý odvod tepla, ochrana proti korozi, kvalitní mazací film, použití při vysokých i nízkých frekvencích otáčení a další. Kapalná maziva jsou tvořena z tzv. základových olejů, kterými jsou minerální oleje, syntetické oleje nebo rostlinné či živočišné oleje. Ty se většinou mísí s různými aditivy, které vytvoří požadované vlastnosti.

- **Minerální oleje** jsou tvořeny ze surové ropy. V rafinériích se za pomoci různých druhů rafinace vyloučí nepotřebné látky z ropy, aby byly dosaženy požadované vlastnosti. Dle těchto vlastností můžeme rozdělit minerální oleje do čtyř typů. Parafinový olej, naftenický olej, vícestupňový olej a syntetický olej [18, 20].
 - **Parafinový olej** je vyráběn tzv. frakční destilací. Využívá se u kosmetických výrobků nebo jako nátěr na dřevěné výrobky. Disponuje dobrou oxidační odolností, je tepelně stabilní, má vysoký bod vzplanutí a nízkou volatilitu [20, 21].
 - **Naftenický olej** je charakterizován nižším bodem tuhnutí, vyšší volatilitou, a tím i nižším bodem vzplanutí. Je využíván jako chladivo při obrábění, olej do kompresorů či transformátorový olej [20, 22].
 - **Vícestupňový olej** se často využívá jako motorový olej. Je to z důvodu velkého teplotního rozsahu, při kterém může být využit. Způsobuje to vysoký viskózní index, kterého se dosahuje přidáváním polymerů do minerálních olejů. Název vícestupňový vyplývá z toho, že se vyrábí

v různých stupních kvality. Přičemž právě ta určuje, v jakých teplotách může daný olej pracovat [20].

- **Syntetický olej** může být součástí rozřazení minerálních olejů, ale i nemusí. Jedná se o dva druhy syntetických olejů, kdy první směsný syntetický olej je vytvořen z minerálního oleje a syntetických přísad. Takový olej dosahuje zlepšených vlastností a je používán do motorů a jiných zařízení. Vyznačuje se větší životností a lépe snáší zatížení. Druhý, plně syntetický olej je vyroben bez použití ropy. Je tvořen čistě syntetickými materiály, přičemž jeden z nejpoužívanějších je polyalfaolefin. Tento typ oleje má své využití při extrémních podmínkách a velkých zatíženích. Aplikuje se ve vysoce výkonných motorech, ve strojích pracujících v nízkých teplotách, nebo v motorech luxusních automobilů. Syntetické oleje však mají nevýhodu v pořizovací ceně. Ta většinou převyšuje cenu jiných druhů olejů [25].
- **Rostlinné oleje** se v technické oblasti vyskytují jen zřídka. Využívají se především pro účely gastronomie ke zlepšení chuti a obecně při vaření. Vyrábí se z rostlinných zrn, semen, různých druhů ovoce nebo z ořechů a jiných. Nejčastěji se setkáme s olejem řepkovým, olivovým, kokosovým, palmovým nebo slunečnicovým. Proces výroby může být různý, nejjednodušší je lisování semen, ze kterých se olej vylučuje a poté se přefiltruje. Pak se olej může hned používat. Dalším procesem je rozdrcení rostlinných produktů a smísení s hexanem, který napomáhá k extrakci oleje. Olej před použitím projde rafinací, bělením a deodorizací. Během těchto procesů je spojován s chemickými látkami pro člověka nezdavými [24].
- **Živočišné oleje** jsou nejméně zastoupeny ze všech. Důvodem je jejich způsob získávání. Jak z názvu vyplývá, je extrahován z živočichů a zejména z ryb. Může být přidáván k minerálním olejům pro podporu tvorby mazacího filmu. Živočišné oleje se vyznačují téměř nulovou volatilitou. Tyto oleje se vyskytují také v gastronomii nebo farmaceutickém průmyslu [20].

3.5.2 Aditiva

Pod pojmem aditiva se rozumí chemické sloučeniny, jež jsou přidávány do základových olejů, aby byly dosaženy požadované vlastnosti. Množství přidaných aditiv se liší dle podmínek a potřeb daného zařízení. Z pravidla se pohybuje od 0,1 % až po 30 % aditiv na celkový objem oleje. Základními úkoly aditiv jsou vylepšit, dodat nové nebo potlačit nežádoucí vlastnosti základového oleje. Dělí se například na polární nebo nopolární. [25, 26].

Polární aditiva jsou charakterizována svou schopností přilnout na povrchu neboli jsou povrchově aktivní. Jejich molekuly jsou nesouměrného tvaru a na jejich koncích vznikají

elektrické náboje. Díky těmto nábojům jsou přitahovány k povrchu různých součástí, kde vytvoří mazací film. Ten součásti chrání před přímým kontaktem s jinou součástí, před korozí či před usazováním nečistot [25].

Nepolární aditiva nejsou povrchově aktivní, avšak jejich přítomnost je také velmi důležitá. Rozptýlí se po celém objemu oleje a zlepšují vlastnosti jako je viskozita a bod tuhnutí oleje nebo odolnost gumových těsnění a další [25].

Konkrétní druhy aditiv [25, 26]:

- **Inhibitory rzi a koroze** jsou účinné látky, které mají schopnost neutralizovat kyseliny a odpuzovat vlhkost z kovových součástí. Tím je chrání před rží a korozí. V oleji se může vyskytovat více druhů těchto aditiv, jelikož každý ochraňuje jiný druh kovu.
- **Detergenty** se starají, aby nedocházelo k usazování nečistot na povrchu součástí nebo tyto nečistoty rozpouští.
- **Disperzanty** slouží k odstranění tvorby usazenin. Obalí vzniklé nečistoty a oddělí je od sebe, aby se neshlukovaly. Obalené nečistoty jsou buď odfiltrovány nebo rovnoměrně rozprostřeny v oleji.
- **Vylepšovače viskózního indexu** omezují závislost viskozity na teplotě. Ve vyšších teplotách dopomáhají k udržení dostatečné viskozity, aby olej vytvářel kvalitní mazací film. Při nižších teplotách se starají, aby viskozita nebyla příliš velká a mazivo dobře teklo.
- **Prostředky proti opotřebení (AW)** se starají o ochranu kovových součástí proti opotřebení. Když dojde k hraničnímu nebo smíšenému mazání, kdy není mazací film kompletní a třecí plochy se navzájem dotýkají, tak jsou na površích ulpěny právě tato aditiva, která je chrání před poškozením.
- **Aditiva pro extrémní tlak (EP)** fungují na principu chemické reakce s kovovým povrchem, která vytvoří na součásti odolnou vrstvu. Ta brání mikrosvarům nebo adhezivnímu opotřebení. Mohou být agresivní vůči některým měkkým kovům, proto je nutné znát materiály všech součástí před použitím. Používají se při vysokých zatíženích a vysokých teplotách.
- **Modifikátory tření** dopomáhají měnit účinky tření. Využívají se u motorů, kde snižují tření pro zmenšení ztráty energie anebo u automatických převodovek, kde zvyšují účinnost materiálů spojky.
- **Aditiva snižující bod tuhnutí** redukují velikost voskových krystalů, které se vytváří při nízkých teplotách. Tím umožňují tečení maziva i v teplotách hluboko pod bodem mrazu.
- **Demulgátory** zabraňují spojení vody a oleje a tím tvoření tzn. emulze. To chrání před ucpáním olejových kanálků. Voda je odpuzována a shlukuje se dohromady, aby bylo možné ji odpustit.

- **Emulgátory** umožňují tvorbu emulzí neboli spojují olej a vodu. Využívají se například v ohnivzdorných kapalinách nebo v kapalinách používaných ke zpracovávání kovů.
- **Biocidy** zabráňují tvorbě a množení bakterií v mazivu.
- **Fixační složky** se starají o to, aby nedocházelo k rotačnímu pohybu olejů v důsledku kontaktu s povrchy rotačních součástí.
- **Protipěnovostní aditiva** oslabují stěnu vytvořených vzduchových bublin a tím urychlují jejich prasknutí. Ovlivňují i účinky oxidace oleje, jelikož omezují kontakt se vzduchem. U těchto aditiv je velice nutné dbát na přidávané množství, jelikož je možné, že při větší koncentraci se účinek projeví opačně a olej bude pěnit.

3.5.3 Fyzikální vlastnosti maziv

Viskozita je jedna z nejdůležitějších vlastností maziv. Pojednává o míře vnitřního tření v kapalině neboli schopnosti molekul dané látky odolávat vzájemnému pohybu. Při výběru maziva je nutné dbát na tuto vlastnost, jelikož je zodpovědná za tvoření mazacího filmu na třecích plochách. Je závislá na teplotě a tlaku [19].

Viskózní index určuje závislost viskozity na teplotě. Se změnou teploty přichází i změna viskozity. Přibližný vzrůst či pokles viskozity na 1 °C se uvádí až 5 %. To může vést ke zhoršení vlastností maziva. U vysokých teplot může dojít ke zhoršení kvality mazacího filmu a u nízkých teplot například k problémům s dopravou maziv na určená místa [19].

Bod tuhnutí označuje teplotu, při které začne docházet k tvorbě voskových krystalů. Ty se shlukují a zabráňují tečení kapaliny [19].

Bod tečení je nejnižší teplota, při které kapalina teče vlivem gravitace. Při dalším klesání teploty musíme kapalinu dopravovat čerpadly a jinými systémy [19].

Bod vzplanutí popisuje nejnižší teplotu při které dojde k samovznícení par uvolněných z maziva. Je důležitý zejména u ropných maziv [19].

Volatilita určuje míru odpařování daného maziva, čímž může docházet k nechtěnému úbytku [19].

Hustota vyjadřuje poměr mezi hmotností a objemem daného maziva [19].

Demulgace zabráňuje tvorbě emulzí neboli spojování vody a oleje do hustých hmot, které se mohou usazovat [19].

Stlačitelnost hraje roli hlavně u hydraulických olejů, kde je nutné, aby byla co nejmenší a dobře se tak přenášel tlak v kapalině.

Pěnivost je schopnost maziva mísit se se vzduchem a vytvářet pěnu, která podporuje nežádoucí stlačitelnost [19].

Tepelná vodivost je důležitá pro odvádění tepla ze zahřívaných míst jako jsou písty motoru, ložiska a další [19].

Elektrické vlastnosti zahrnují dielektrickou schopnost maziva a vodivost elektrického proudu [19].

Povrchové vlastnosti jsou vlastnosti, mezi které patří povrchové napětí nebo oddělení plochy maziva od vzduchu a jiných plynů [19].

3.5.4 Chemické vlastnosti maziv

Rychlost zahřátí popisuje, jak rychle je mazivo schopno dosáhnout pracovní teploty. Je nutná, protože v nízkých teplotách je vysoká viskozita, která příliš zatěžuje mazací systém [19].

Oxidační stabilita je schopnost maziv, odolávat vnějším vlivům, a tak si udržet své vlastnosti po co nejdelší dobu [19].

Redukce opotřebení je důležitá k řádné funkci každého maziva. Opotřebení vzniká několika druhy a ničí třecí plochy součástí. Tato vlastnost dopomáhá k ochraně těchto povrchů [19].

Detergence a disperze je schopnost maziv zabránit tvorbě či usazování nečistot. Vlivem různých třecích procesů nebo vysokých teplot se mohou tvořit uhlíkové usazeniny, které ucpávají olejové kanály nebo filtry. Převážně u motorových olejů je tato vlastnost nepostradatelná, jelikož dochází vlivem spalování k tvorbě velkého množství usazenin. Díky této schopnosti jsou usazeniny rozpuštěny nebo rozptýleny do celého objemu oleje, ze kterého jsou odfiltrovány [19].

Kompatibilita s gumovými těsněními je nutná. Mazivo nesmí vytvářet agresivní prostředí pro těsnicí prvky z gumy [19].

4. Tribodiagnostika

Metoda technické diagnostiky, která zjišťuje stav strojního zařízení prostřednictvím testování jeho maziva. Prováděním zkoušek se získávají informace o technickém stavu stroje, ale i o degradaci (stárnutí) maziva. To umožňuje provádět vhodné kroky k tomu, aby byla zajištěna co nejdelší životnost stroje a maziva [4].

4.1 Metody pro určení degradace maziva

4.1.1 Kinematická viskozita

Viskozita patří mezi hlavní specifikace, podle kterých je mazivo vybíráno. Během provozu ve stroji může docházet k nechtěným změnám viskozity, a to buď ke jejímu vzrůstu nebo poklesnutí. Vzrůst je charakteristickým jevem pro vady jako je vznik emulze olej-voda, vysoké množství mechanických nečistot nebo jiných oxidačních jevů. Pokles může být způsoben vyprcháním aditiv, kontaminací palivem nebo nechtěnou záměnou maziva [4].

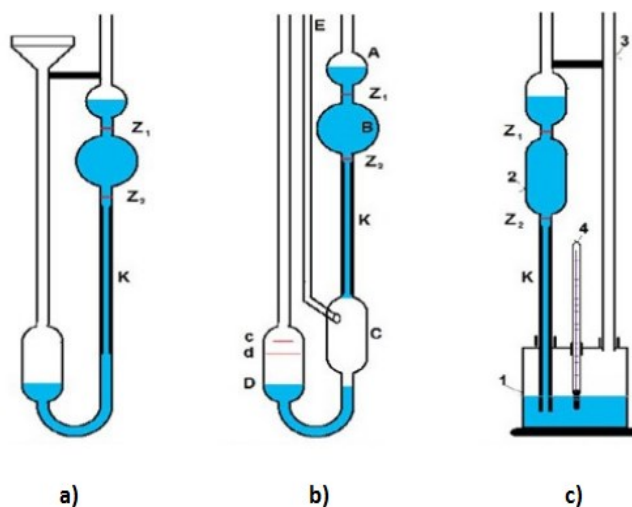
Měření viskozity je součástí většiny tribodiagnostických kontrol strojních zařízení. Provádí se nejčastěji při teplotách 40 °C a 100 °C, a to z důvodu výrazné závislosti viskozity na teplotě. Měřit se může například na viskozimetrech Ubbelohde, Cannon-Fenske, Pinkevič, Kössler, Vogel-Ossag, Ostwaldův a dalších. Všechny tyto viskozimetry jsou kapilárního typu, což znamená, že kapalina protéká přes kapilární trubici [4].

Vztah pro výpočet kinematické viskozity:

$$\nu = c \cdot \tau \quad [mm^2 \cdot s^{-1}] \quad (3)$$

c – konstanta viskozimetru

τ – aritmetický průměr doby průtoku viskozimetru



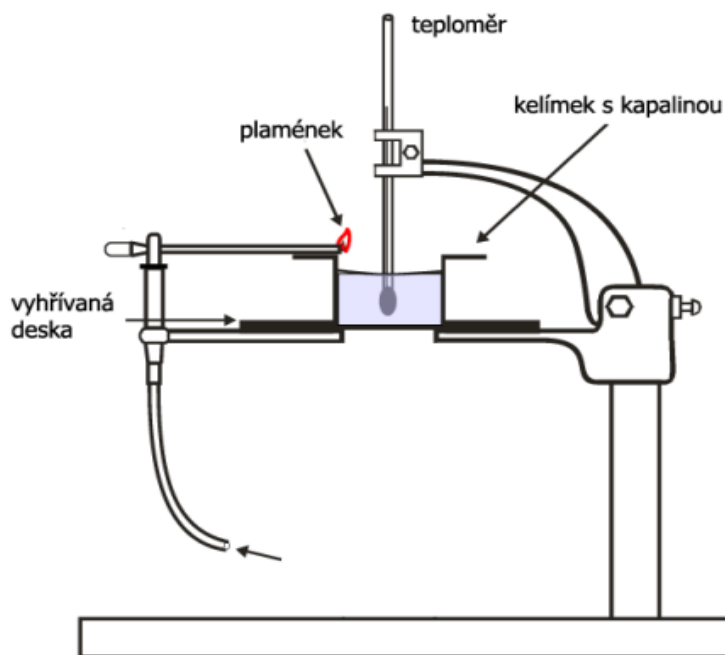
Obr. 11 – Schématické obrázky viskozimetrů a) Ostwaldův viskozimetr, b) viskozimetr Ubbelohde, c) viskozimetr Vogel-Ossag [27].

Princip těchto viskozimetrů spočívá v tom, že se podtlakem nasaje olej do horní baňky nad horní rysku a poté se podtlak uvolní. Kapalina začne pomalu klesat pomocí gravitace a jakmile dosáhne hladina horní rysky, spustí se odpočet času. Stopky se zastaví až ve chvíli, kdy hladina klesne na dolní rysku. Postup se opakuje a poté se hodnoty času zprůměrují. Nakonec se vše vypočte dle vzorce (3).

4.1.2 Bod vzplanutí a hoření

Teplná hodnota bodu vzplanutí u maziv je důležitým bezpečnostním faktorem. U nových maziv se využívá pro určení, zda mazivo vyhovuje provozním podmínkám daného stroje. V případech testování používaného maziva se může tato hodnota lišit od původní. Je to způsobeno například zředěním maziva palivem. Teplota bodu vzplanutí v takových případech klesá. U motorových olejů se hodnota pohybuje od 190 °C až po 235 °C [4].

Hodnoty můžou být získány například pomocí přístroje se otevřeným kelímkem dle Clevelanda [4].



Obr. 12 – Schématický obrázek zkoušky bodu vzplanutí pomocí otevřeného kelímku dle Clevelanda [27].

Zkouška musí být prováděna v bezvětrí a v tmavší místnosti, aby bylo možné vidět vzplanutí par. Do kelímku je umístěno přibližně 100 ml oleje. Kelímek je spolu s olejem postupně zahříván zpočátku rychlostí 14–17 °C za minutu. Po dosažení teploty přibližně 56 °C před očekávaným bodem vzplanutí se rychlost vzrůstu teploty upraví na 5–6 °C za minutu, aby bylo možné lépe zaregistrovat přesnou hodnotu. Následně při teplotě nižší alespoň o 23 °C ± 5 °C v intervalech po 2 °C a po dobu 1 s se začne nad okraj zavádět plamínek o velikosti 3,2–4,8 mm. Bod vzplanutí je určen prvním vzplanutím olejových par a pro bod hoření je nutné ve zkoušce pokračovat a dosáhnou nepřetržitého hoření par minimálně po dobu 5 s. Pokud bylo zavádění plamínku zahájeno méně než 18 °C před bodem vzplanutí, je tato zkouška neplatná [4].

4.1.3 Obsah vody

Obsah vody v mazacím oleji může způsobovat několik nežádoucích účinků, které zhoršují kvalitu mazání, vytváří usazeniny a působí korozivně na součásti stroje. Mezi tyto účinky patří například tvorba emulzí, zakalení oleje, pění, zvyšování viskozity, zhoršení účinků některých aditiv a další. Maximální možná hodnota hmotnostního obsahu vody v oleji je 0,2 %. Zkoušky na odhalení obsahu vody v oleji se dělí na dva způsoby. Kvalitativní zkoušky, které zaznamenávají pouze, zda je voda přítomná a kvantitativní zkoušky, které určují přesné množství vody v oleji [4].

Kvalitativní zkoušky obsahu vody v oleji:

- **Vizuální zkouška** je jednoduchá, ale zároveň nejméně přesná ze všech. Olej je umístěn v průhledné, uzavřené nádobě v dostatečném množství. Pokud olej obsahuje alespoň 0,025 % vody, tak při protřepání dojde k zakalení. Vzorek nesmí být moc znečištěn, aby bylo možné zakalení poznat. Při tak nízké hodnotě vody v oleji může být mnohdy změna těžko zaregistrovatelná, a proto je nutné, aby zkoušku prováděla již zkušená osoba [4].
- **Prskací zkouška** se provádí na nahřáté plotně, na kterou je vzorek nakápnut. Pokud dojde k tvorbě bublin, je součástí vzorku také voda. Plotna je předehřátá na 180 °C, a to z důvodu, aby šly dobře vidět tvořící se bubliny. U této zkoušky lze také s nízkou přesností určit o jak velké množství vody se jedná. Pokud vzorek bublá po dobu 1–2 s bublinami o velikosti přibližně 0,5 mm, tak se jedná o 0,1 % hmotnostního obsahu vody. Pokud bublá přibližně 3 s bublinami okolo 1 mm, tak se jedná o 0,2 % hmotnostního obsahu. Pro určení přibližné hodnoty obsahu vody z této zkoušky je zapotřebí zkušená obsluha [4].

Kvantitativní zkoušky obsahu vody v oleji:

- **Coulometrická zkouška** je založena na principu titrace jódu. S pomocí váhy, která měří s přesností minimálně $\pm 0,1$ mg je přesné množství vzorku oleje naneseno do titrační nádoby. Ta je opatřena anodou a katodou, mezi nimiž probíhá elektrochemická reakce, která vytváří jód. Ten reaguje s vodou a spotřebovává ji. Množství vytvořeného jódu se následně spočítá z proudu a délky času reakce [4, 29].
- **Destilační zkouška** se v praxi používá méně, a to z důvodu její časové náročnosti a spotřeby velkého množství vzorku. Její přesnost se uvádí na 0,02 % obsahu vody, což je také menší než například u coulometrické zkoušky. Destilace může být prováděna například s xylenem [4, 29].

4.1.4 Číslo alkality a kyselosti

Kyselost mazacích olejů je projevem chemickotepelné degradace. Může zapříčinit nepříznivé prostředí pro některé součásti stroje nebo změnu viskozity. Dle čísla alkality TBN

(Total Base Number – celkové číslo alkality) a čísla kyselosti TAN (Total Acid Number – celkové číslo kyselosti) se zjišťuje stav maziva s ohledem na stárnutí. Zjišťování těchto hodnot probíhá za pomoci potenciometrické titrace, která měří maximálně na přesnost $\pm 10\%$ stanovené hodnoty [4].

Číslo celkové alkality se udává v jednotce mg KOH/g, což popisuje, kolik mg kyseliny chloristé je nutno přidat k 1 g oleje, aby byly neutralizovány všechny zásadité látky. U nových olejů se toto číslo pohybuje od 8–15 mg KOH/g. U používaných by se neměla hodnota dostat pod 1–2 mg KOH/g [30].

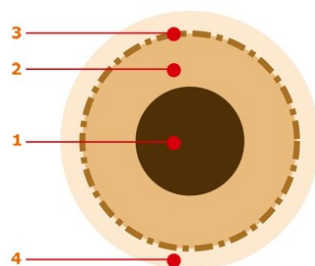
Číslo celkové kyselosti je definováno jako KOH v mg, které v 1 g oleje neutralizuje všechny kyselé látky. TAN by nemělo v oleji vzrůst nad hodnotu 1.5 mg KOH/g. U čerstvých olejů jsou hodnoty mylné, jelikož olej reaguje s aditivy, které číslo kyselosti mění [30].

4.1.5 Conradsonův karbonizační zbytek (CCT)

Je důležitý zejména u motorových olejů, kdy při působení vysokých teplot od spalování dochází k uvolňování látek (uhlíkaté zbytky), a ty způsobují tvoření tzn. úsad. Ty se u motorů tvoří převážně na pístních kroužcích. Zkouška na CCT probíhá v uzavřené nádobě za předepsaných podmínek. Dochází k termickému rozkladu oleje a následně po spálení se vyhodnocuje změna hmotnosti vzorku. Naměřené hodnoty se udávají v % hm (procenta hmotnosti). Výsledky jsou s přesností $\pm 10\%$ [4].

4.1.6 Kapková zkouška

Principem této zkoušky je nanesení kapky testovaného maziva na filtrační nebo chromatografický papír, který musí být napnutý. Kapka se za malou chvíli rozprostře a vpije do papíru. Aby ze zkoušky bylo získáno co nejvíce informací, je nutné, aby obsluha byla zkušena. Pak lze vyčíst například ztrátu mazacích schopností, funkce detergentu a disperze, obsah vody, kontaminaci palivem, a další. Celkový průběh je velmi jednoduchý a rychlý pro zjištění přibližného stavu maziva [31].



Obr.13 – Popis jednotlivých kruhů vytvořených při kapkové zkoušce 1 – stupeň znečištění pevnými látkami, 2 – identifikace kondice oleje, 3 – přítomnost vody, 4 – přítomnost paliva [31].

4.1.7 Celkové znečištění

Smluvní zkoušky, kterými se zjišťuje přítomnost termooxidačních zplodin, mechanických a jiných nečistot v mazacím oleji. Pro určení těchto typů znečištění bývají nejčastěji použity metody stanovení mechanických nečistot nebo měření množství a velikosti nečistot [4].

Metody stanovení mechanických nečistot

U první varianty této zkoušky se vzorek oleje filtruje přes membránový ultrafiltr za pomoci podtlaku. Na filtru zůstanou pevné částice, které se projeví změnou hmotnosti ultrafiltru a tím se zjistí znečištění oleje. Druhá varianta je založena na totožném principu, ale je obohacena o stanovení velikosti mikročástic, a taky o jejich počet [4].

Měření množství a velikosti nečistot

Jedná se o stanovení množství a velikosti mechanických nečistot podle norem ISO 4406, ISO 4407 a NAS 1638. Každá z norem popisuje jinou metodu měření a stanovení těchto hodnot [32].





- **ISO 4406** popisuje metodu, která stanovuje počet částic v 1 ml vzorku. Částice jsou rozděleny dle velikosti a následně spočítány. Měří se velikosti od 4 μm do 6 μm , od 6 μm do 14 μm a od 14 μm výše. Finální vyjádření hodnot, je pomocí kódu, který se vyhodnotí za pomoci normovaných tabulek. Kód má tři číslice, přičemž každá značí jinou velikost částic (např. 21/18/15) [32].
- **ISO 4407** také sleduje částice v 1 ml vzorku. Velikosti těchto částic se pohybují od 5 μm do 15 μm a od 15 μm výše. Vyjádření je provedeno prostřednictvím kódu, jež má dvě číslice (např. 21/15). Dle této normy se počet a velikost částic měří opticky neboli za pomoci mikroskopu [32].
- **NAS 1638** pracuje se 100 ml vzorku oleje, ve kterém měří a počítá částice o velikostech 2-5 μm , 5-15 μm , 25-50 μm , 50-100 μm a 100 μm a výše. U každé z těchto velikostí je samostatně popsáno kolik částic se ve vzorku nachází a poté je dle normované tabulky vybrána hodnota k nim přiřazená. Výsledek celé metody se udává pouze jedním číslem, a to tím největším, tzn. největší hodnota ze všech naměřených (např. NAS 7) [32].

4.1.8 Spektrální analýza

Tato metoda je založena na odrazu infračerveného záření, jenž se odrazí od zkoušené kapaliny, a tím dojde k vybuzení vibrací. Ty se následně projeví jako tzn. vibrační absorpční pásy, a to proto, že je pohlcováno záření s určitými energickými hodnotami. Různé umístění těchto pásů znázorňuje výskyt určitých prvků nebo sloučenin, dle kterých můžeme určit o jakou vadu oleje se jedná [4].

4.1.9 Kolorimetrie (MPC)

MPC (Membrane Patch Colorimetry) je zkouška, která slouží k určení přítomnosti prvků degradace neboli tzv. měkkých kalů. Vlivem stárnutí neboli degradace maziva se v oleji vytváří velmi malé nečistoty, jež se mohou usazovat na součástech stroje. Zkouška je založena na zkoumání zbarvení membrány, přes kterou je směs vzorku oleje a rozpouštědla vakuově přefiltrována. Membrána má pórovitost $0,45\ \mu\text{m}$ a jsou na ní zachyceny nerozpustné nečistoty. Zbarvení vyhodnotí Kolorimetr za pomoci spektrofotometrie a porovná výsledek s původní (čistou) membránou. Výsledkem je hodnota ΔE , která uvádí míru znečištění oleje. Dle normy ASTM D7843 jsou čtyři stupně znečištění [Obr. 14] [33].

$\Delta E < 15$ normální stav 	$\Delta E = 15 - 30$ zhoršený stav 	$\Delta E = 30 - 40$ abnormální stav 	$\Delta E > 40$ kritický stav 
---	--	---	---

Obr. 14 – Znázornění různých stupňů znečištění olejů pomocí kolorimetrie [33].

4.2 Metody pro stanovení koncentrace otěrových kovů

4.2.1 Atomová spektrofotometrie

Tato metoda je schopna zachycovat jak technický stav stroje, tak i degradaci maziva. Je založena na detekci konkrétních prvků, které se vyskytují ve vzorku, za pomoci sledování jejich elektromagnetického nebo hmotnostního spektra. Prostřednictvím dodání tepelné, elektrické, chemické nebo elektromagnetické energie atomu v jeho stavbě dojde k přesunutí elektronu na jinou energetickou úroveň, a tím je vyzařována energie ve formě fotonů. Ty se zachytí na detektoru. V tribodiagnostice se využívá atomová absorpční spektroskopie a atomová emisní spektroskopie [34].

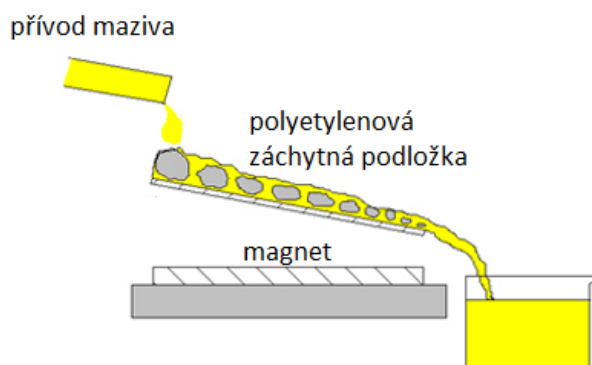
Atomová absorpční spektroskopie pracuje s pohlcováním světelného záření o různých vlnových délkách, které se následně zaznamená na detektor. Elektrony po vstupu světla do analytického prostředí pohltí část záření a tím jsou vybuzeny. Světelný tok přes prostředí je snížen, a to zachytí detektor. Pod pojmem analytické prostředí se skrývá plynné prostředí plné volných atomů, vytvořeno dodáním cizí energie [34].

Atomová emisní spektroskopie funguje na principu sledování světelné energie, která je vyzařována elektrony, jež se vrací na své stabilní energetické úrovně. Při vhodných podmínkách dochází u odpařených atomů k zahřívání elektronů z vnějšího obalu. Při vracení

těchto elektronů dochází k částečné produkci světelné energie, která je zachycována na detektor [34].

4.2.2 Ferografie

Je metodou pro zkoumání částic, jenž se tvoří opotřebením třecích komponent daného stroje. Funguje na principu zachytávání těchto částic pomocí magnetu na polyetylenovou podložku. Mazací olej proudí přes podložku, pod kterou je umístěn magnet, který přitahuje částice. Na začátku jsou zachyceny velké částice, jelikož na ně magnet působí větší silou a dále jsou zachyceny menší částice. Po zachycení se stav vyhodnotí pomocí mikroskopu, který sleduje morfologii částic. Podle koncentrace různých velikostí lze určit v jakém stádiu se dané třecí plochy nachází a předcházet poruchám. Vyhodnocuje se také chemické složení, aby bylo možno určit, ze kterých komponent částice pochází [35].



Obr.15 – Schématické znázornění průběhu ferografické zkoušky maziva.

4.2.3 Polarografie

Tato metoda dokáže určit různé druhy slitin nebo organických a anorganických sloučenin. Testované mazivo se zředí příslušnými látkami, aby bylo dosaženo lepší vodivosti a vytvoří se roztok, do kterého se vloží dvě elektrody. Hodnoty napětí mezi elektrodami se mění a dochází k toku iontů, které přísluší daným látkám a dle nich roste nebo klesá protékající proud. Následně se pomocí chromatografu proud měří a z křivky proud-napětí dokážeme určit o jaké sloučeniny nebo slitiny se jedná [36].

4.2.4 Rychlá analýza motorových olejů (RAMO)

Byla vytvořena pro rychlé kontroly maziva, které je možno provádět na místě stroje a není nutno dělat složité kroky k výsledkům. Dokáže určit přítomnost čtyř základních prvků mezi které patří Fe, Cu, Pb a Al. Částice kovů se extrahují do vodní lázně a následně se vizuální fotometrií zkontrolují [5].

5. Výsledky provedených zkoušek

Součástí této bakalářské práce je odběr vzorků olejů a jejich vyhodnocení. Mezi použité metody zkoušení patří měření viskozity, obsah vody, obsah měkkých kalů, celkové znečištění, spektrální analýza a prvková analýza. Tyto metody byly použity na celkově pěti vzorcích, které pochází z různých zařízení společnosti VÚHŽ a.s. Odebírání se konalo třikrát, a to s rozstupem minimálně dvou měsíců, aby bylo možné dobře zaregistrovat průběh degradace a technického stavu strojů. K posouzení byl hydraulický olej HYDRAX HLP 46, který se vyskytoval ve čtyřech případech a mazací olej PARAMO CLP 220, který je zastoupen pouze jednou. Odebíráno bylo z pěti zařízení, mezi které spadá mazací okruh válcovny, hydraulický okruh válcovny, hydraulický systém krokové nahřívací pece ve válcovně, hydraulický systém vyklápění indukční pece ve slévárně a hydraulický tuširovací lis v nástrojárně.

5.1 Měřicí stroje použity k vyhodnocení odebraných vzorků

Viskozimetr Ubellohde



Obr. 16 – Fotografie viskozimetru Ubellohde ve vodní lázni.

Obsah vody



Obr. 17 – Fotografie coulometru WTD.

FTIR spektrometrie



Obr. 18 – Fotografie spektrometru Nicolet Impact 410.

Podtlaková filtrace



Obr. 19 – Fotografie podtlakové filtrace.

Rentgenový spektrometr



Obr. 20 – Fotografie rentgenového spektrometru AMETEK.

5.2 Válcovna – mazací okruh

Tyto vzorky obsahují mazací olej PARAMO CLP 220, jenž byl odebrán ze zásobníku o velikosti 4000 l. Zásobník se nachází ve sklepní části válcovny a pomocí čerpadel je mazivo hnáno potrubím napříč válcovnou přes různá mazací místa. Odebíráno bylo ze servisního ventilu na jednom z potrubní [Obr. 22].



Obr. 21 – Fotografie zásobníku mazacího okruhu pro válcovnu.



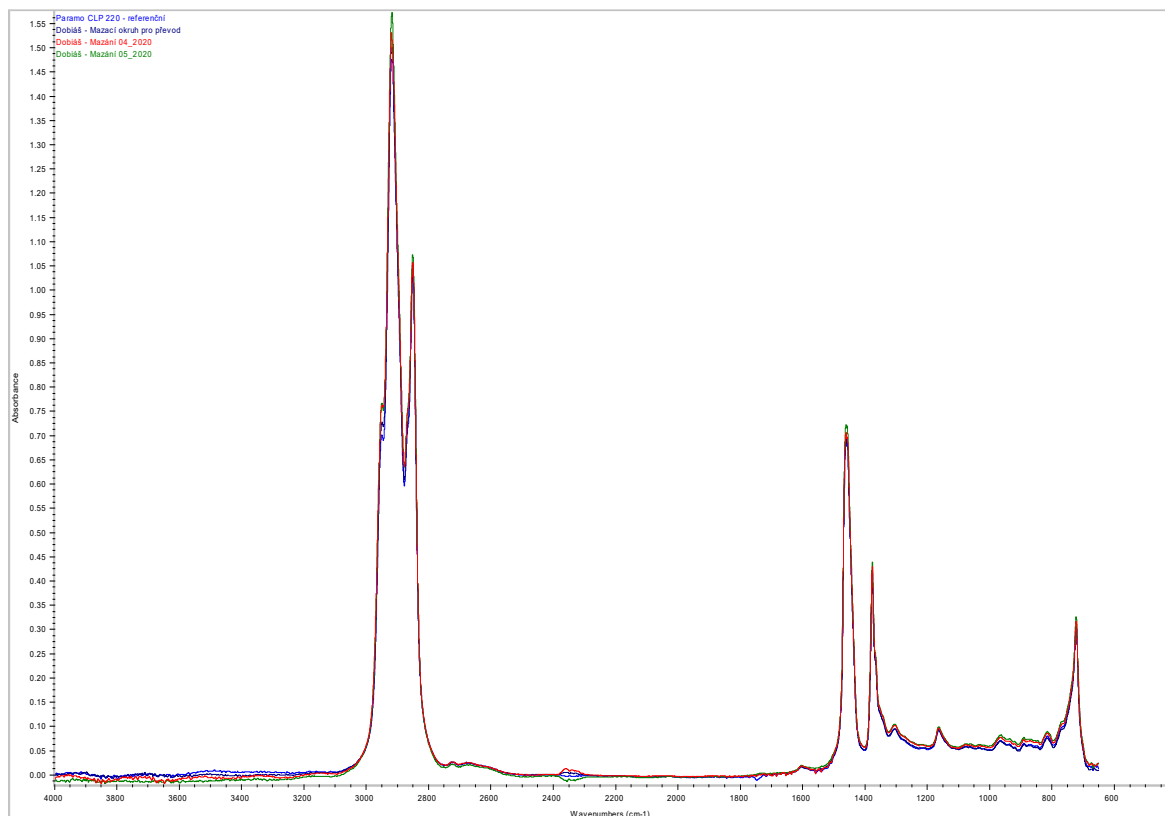
Obr. 22 – Fotografie odběrného místa mazacího oleje pro válcovnu.

Porovnání výsledků odběrů

Válcovna - mazací okruh (PARAMO CLP 220)			
prováděné zkoušky	odběr č. 1	odběr č. 2	odběr č. 3
	13.11.2019	11.3.2020	6.5.2020
kinematická viskozita	211,1	214,5	200,3
obsah vody	0,001	0,0033	0,0032
kód čistoty ISO 4406	21/20/15	21/20/16	19/18/13
kód čistoty NAS 1638	12	12	10
obsah měkkých kalů	16,6	52,1	52,1

Tab. 3 – Porovnání výsledků jednotlivých odběrů oleje z mazacího okruhu ve válcovně

Dle tabulky č. 3 můžeme vypožorovat změny všech zkoušených parametrů. V průběhu třech měření došlo u mazacího oleje k zjištění nadměrného množství mechanických nečistot a měkkých kalů. Naměřené hodnoty u třetího odběru klesly, avšak to mohlo být způsobeno špatným odběrem, nepřesným měřením nebo doplněním čerstvého maziva těsně před odběry. Výsledky některých zkoušek přesahují maximální normované hodnoty, a proto u tohoto zařízení byla doporučena filtrace oleje či úplná výměna, aby nedocházelo k nadměrnému opotřebovávání třecích míst.



Obr. 23 – Porovnání všech odběrů z mazacího okruhu ve válcovně a referenčního vzorku pomocí FTIR spektrometrie.

5.3 Válcovna – hydraulický okruh

Vzorky obsahují olej HYDRAX HLP 46, který byl odebrán ze zásobníku o objemu 3000 l. Zásobník se nachází v postranní místnosti válcovny, odkud je olej veden potrubím napříč halou za pomoci tří čerpadel. Systém funguje na principu spínání čerpadel ve chvíli, kdy je potřeba. Odebíráno bylo přímo ze zásobníku, a to z nalévacího otvoru za pomoci odběrové pumpičky [Obr. 24].



Obr. 23 – Fotografie zásobníku pro hydraulický okruh válcovny.



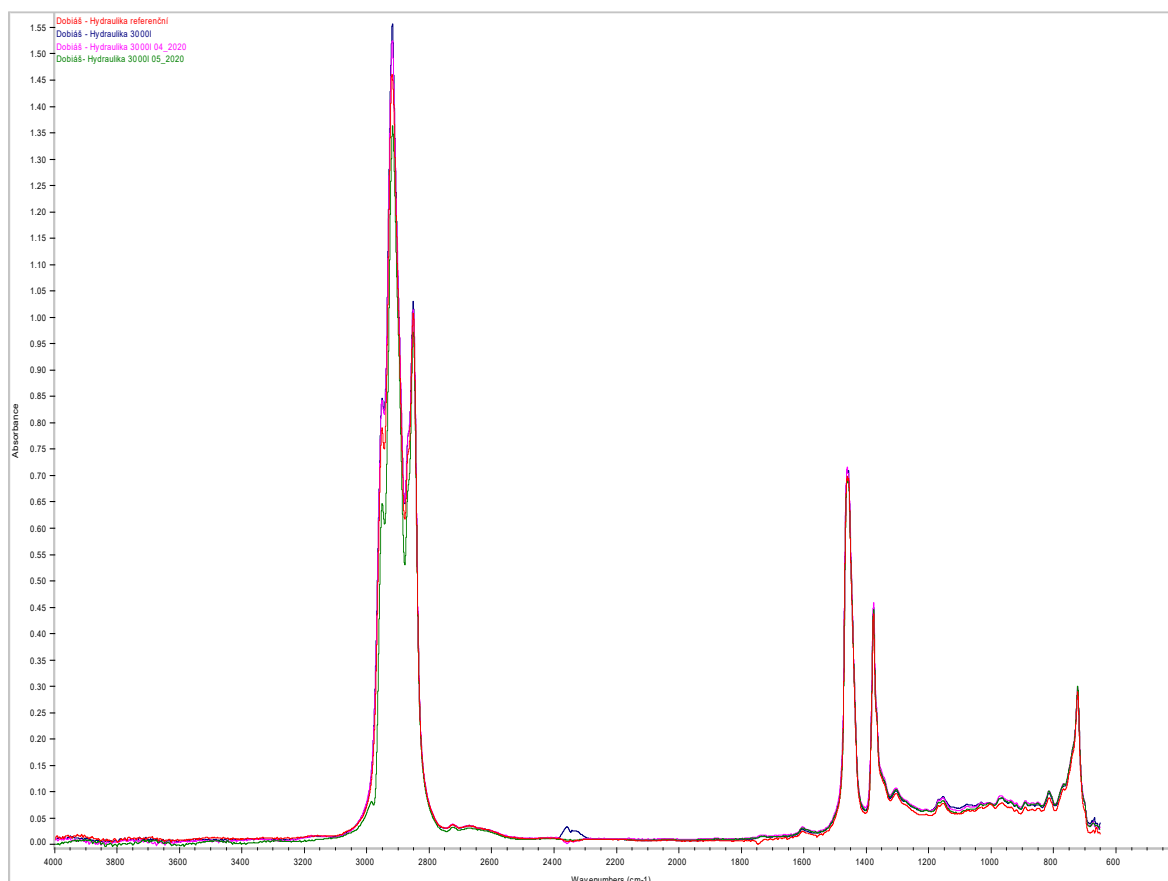
Obr. 24 – Fotografie nalévacího otvoru do zásobníku pro hydraulický okruh válcovny.

Porovnání výsledků odběrů

Válcovna – Hydraulický okruh (HYDRAX HLP 46)			
prováděné zkoušky	odběr č. 1	odběr č. 2	odběr č. 3
	13.11.2019	11.3.2020	6.5.2020
kinematická viskozita	43,82	48,06	43,16
obsah vody	0,0021	0,0026	0,0006
kód čistoty ISO 4406	14/13/11	18/17/14	17/16/13
kód čistoty NAS 1638	7	10	9
obsah měkkých kalů	1,6	9,8	10,3

Tab. 4 - Porovnání výsledků jednotlivých odběrů oleje z hydraulického okruhu pro válcovnu.

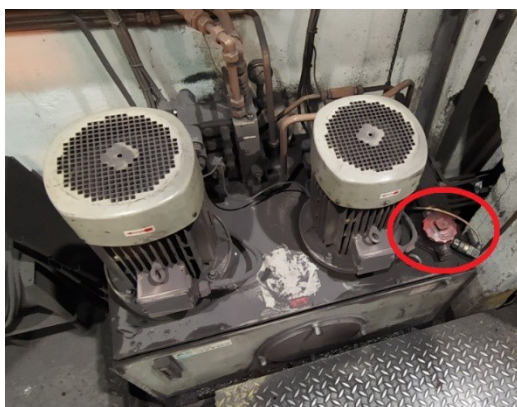
U hydraulického okruhu bylo zaznamenáno kolísání některých hodnot, což může být způsobeno špatným odběrem, nepřesným měřením či doplněním čerstvé náplně těsně před odběry vzorků. I přesto je možné vidět průběžný vzrůst či pokles, což v budoucnu povede k nutné filtraci nebo výměně. Kvůli výstražným hodnotám kódů čistoty bylo doporučeno náplň hydraulického okruhu častěji sledovat. Olej je však zatím v pořádku.



Obr. 25 – Porovnání všech odběrů z hydraulického okruhu ve válcovně a referenčního vzorku pomocí FTIR spektrometrie.

5.4 Hydraulický systém krokové nahřívací pece ve válcovně

Tyto vzorky oleje HYDRAX HLP 46 byly odebrány z nádoby o objemu 200 l, která je umístěna vedle krokové pece. Bylo nutné zastavit krokování pece, aby bylo možné provést odběr, jelikož je systém pod tlakem. Hydraulický systém slouží k ovládání krokování neboli posunu jednotlivých polotovarů, které se v peci nahřívají. Polotovary putují přes pec až na válcový dopravník, který polotovar dopraví přes vodní otryskání až k válcovací stolici. Odebíráno bylo z nalévacího otvoru pomocí odběrové pumpičky [Obr. 26].



Obr. 26 – Fotografie nalévacího otvoru do zásobníku pro hydraulický systém krokové pece



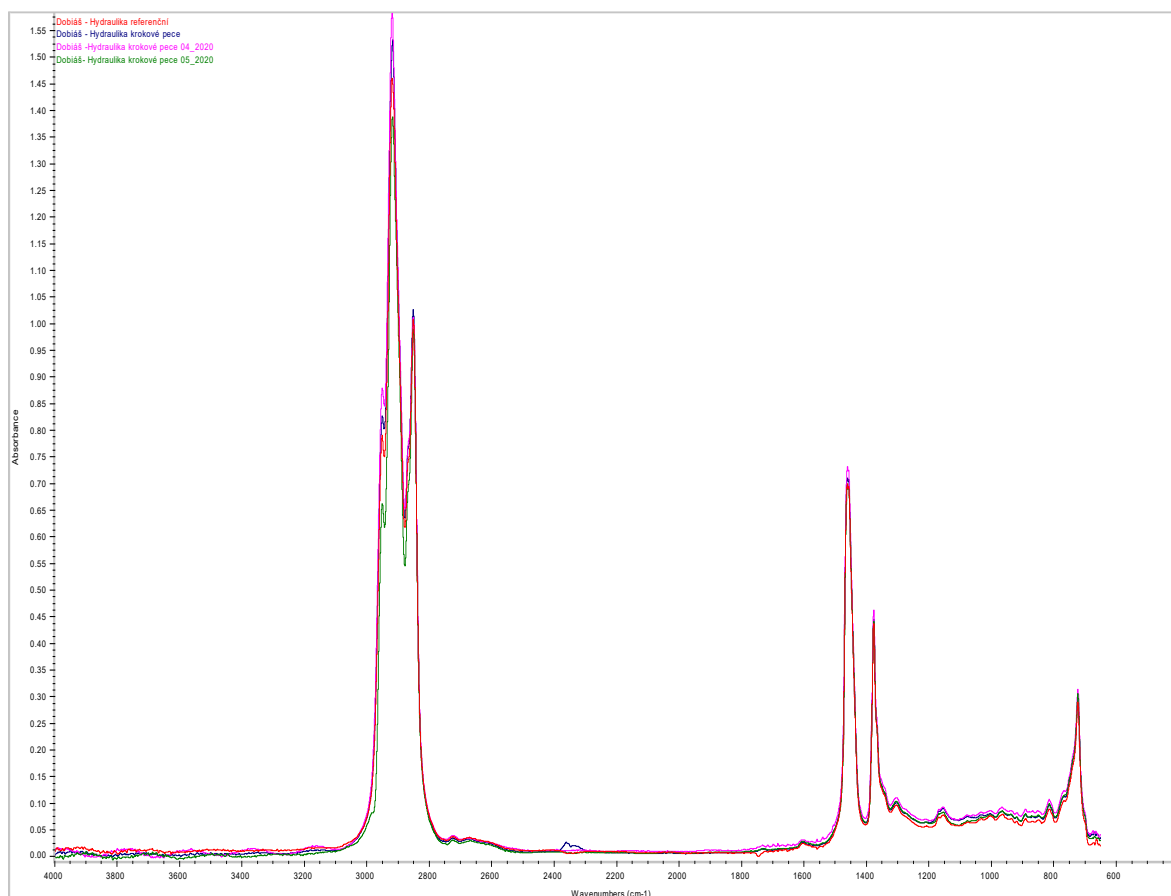
Obr. 27 – Fotografie nahřívací krokové pece.

Porovnání výsledků odběrů

Hydraulický systém krokové pece (HYDRAX HLP 46)			
prováděné zkoušky	odběr č. 1	odběr č. 2	odběr č. 3
	13.11.2019	11.3.2020	6.5.2020
kinematická viskozita	46,38	46,9	47,48
obsah vody	0,0012	0,0022	0,0025
kód čistoty ISO 4406	16/15/13	18/17/14	17/16/13
kód čistoty NAS 1638	8	10	8
obsah měkkých kalů	6,1	16,5	12,6

Tab. 5 - Porovnání výsledků jednotlivých odběrů hydraulického oleje z krokového systému nahřívací pece.

Hydraulický olej u systému krokové pece se pohybuje v normálních hodnotách. U druhého měření bylo zjištěno znečištění mechanickými nečistotami a měkkými kaly, avšak jednalo se pravděpodobně o zkreslení výsledků z důvodu nesprávného odběru či doplnění čerstvé náplně před odběrem. U tohoto zařízení bylo doporučeno pouze pravidelně náplň kontrolovat.



Obr. 28 – Porovnání všech odběrů z krokového systému nahřívací pece a referenčního vzorku pomocí FTIR spektrometrie.

5.5 Hydraulický systém vyklápění indukční pece ve slévárně

Vzorky oleje HYDRAX HLP 46 byly odebrány z nádoby o objemu 100 l, která je umístěna v sousední budově spolu se zdroji vysokého napětí pro napájení pece. Při odběru bylo z důvodu bezpečnosti nutné pec zastavit a vypnout přívody vysokého napětí. Pec slouží k roztavení kovů, které jsou následně vylity za pomoci náklonného hydraulického systému. Odebíráno bylo z nalévacího otvoru za pomoci odběrové pumpičky [Obr. 30].



Obr. 29 – Fotografie vyklápěcí indukční pec ve slévárně.



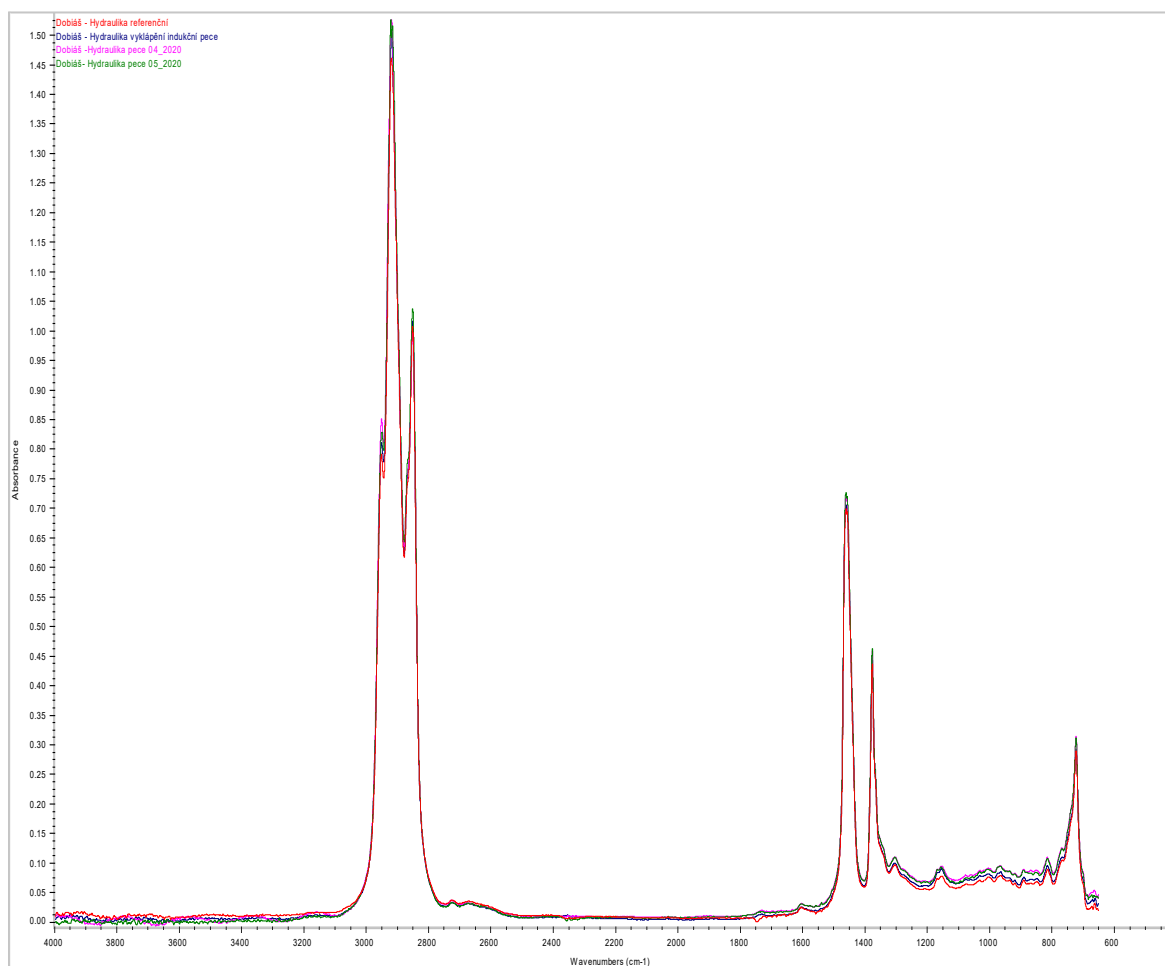
Obr.30 - Fotografie nalévacího otvoru do zásobníku pro hydraulický systém indukční pece

Porovnání výsledků odběrů

Hydraulické vyklápění indukční pece (HYDRAX HLP 46)			
prováděné zkoušky	odběr č. 1	odběr č. 2	odběr č. 3
	13.11.2019	11.3.2020	6.5.2020
kinematická viskozita	45,91	44,94	45,46
obsah vody	0,0032	0,0036	0,0036
kód čistoty ISO 4406	15/15/12	18/17/14	17/16/12
kód čistoty NAS 1638	7	9	8
obsah měkkých kalů	8,2	25,8	39,5

Tab. 6 - Porovnání výsledků jednotlivých odběrů hydraulického oleje z výklopného systému indukční pece.

Při zkoušení druhých a třetí vzorků byl zjištěn nárůst jak mechanických nečistot, tak hlavně měkkých kalů, které dosahují alarmujících hodnot. Výsledky ještě nepřesáhly nad normované maximální hodnoty, ale přesto byla doporučena filtrace, aby nedošlo k výskytu velkého množství usazenin či dokonce zanesení filtru.



Obr. 31 – Porovnání všech odběrů z výklopného systému indukční pece a referenčního vzorku pomocí FTIR spektrometrie.

5.6 Hydraulický tuširovací lis ŽĐAS GO – 2003

Vzorky oleje HYDRAX HLP 46 byly odebrány z nádoby o objemu 350 l umístěné na tuširovacím lisu. Tento lis slouží pro různé úkony nástrojárny. Odebíráno bylo z nalévacího otvoru za pomoci odběrové pumpičky [Obr. 33].



Obr. 32 – Fotografie hydraulického tuširovacího lisu ŽĐAS GO – 2003



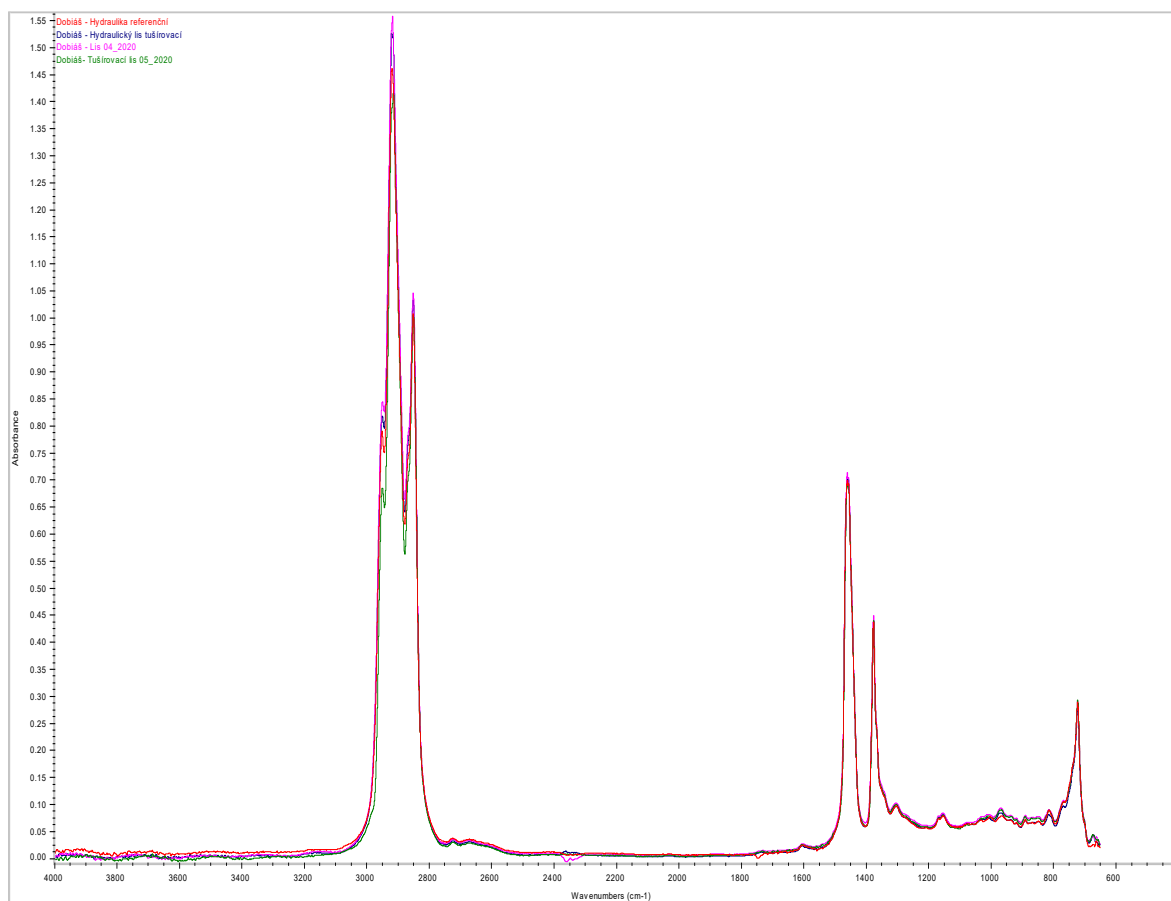
Obr. 33 – Fotografie nalévacího otvoru do zásobníku hydraulického oleje pro tuširovací lis.

Porovnání výsledků odběrů

Hydraulický tuširovací lis ŽĐAS GO - 2003 (HYDRAX HLP 46)			
prováděné zkoušky	odběr č. 1	odběr č. 2	odběr č. 3
	13.11.2019	11.3.2020	6.5.2020
kinematická viskozita	44,35	46,4	44,22
obsah vody	0,0012	0,0018	0,0008
kód čistoty ISO 4406	15/14/12	20/19/17	17/16/15
kód čistoty NAS 1638	7	12	12
obsah měkkých kalů	7,2	27,1	20,5

Tab. 7 - Porovnání výsledků jednotlivých odběrů hydraulického oleje tuširovacího lisu.

U tuširovacího lisu se výsledky zkoušek dostaly výstražné či dokonce na maximální normované hodnoty. Olej je značně znečištěn mechanickými nečistotami, a taky měkkými kaly. Může docházet ke zvětšenému opotřebovávání, a proto byla doporučena filtrace nebo výměna.



Obr. 34 – Porovnání všech odběrů z tuširovacího lisu a referenčního vzorku pomocí FTIR spektrometrie.

6. Závěr

Cílem této bakalářské práce bylo zjistit technický stav a degradaci maziva Strojních zařízení firmy VÚHŽ a.s. Celkem bylo zkoumáno mazivo z pěti strojů, ze kterých byl odebrán hydraulický či mazací olej. Vzorky byly odebrány v průběhu šesti měsíců s tím, že byl dodržen odstup mezi odběry minimálně dva měsíce. Po odebrání maziv byla prováděna různá měření v tribologických laboratořích VŠB-TUO.

V průběhu těchto měření byl zkoumán vývoj stavu strojů či maziva. U některých zařízení byly zjištěny nepříznivé výsledky znečištění. Jednalo se o znečištění převážně mechanickými nečistotami, které pochází z dlouhodobého opotřebení některých třecích částí. Dále bylo u třech strojů zjištěno nadměrné množství měkkých kalů, které může vést ke zvýšenému množství usazenin. Měnily se i ostatní hodnoty jako je viskozita či obsah vody v mazivu. Ty ale ani jednou nepřekročily normované hraniční hodnoty. U mazacího oleje byl u posledního měření zaznamenán výrazný pokles viskozity, který se blížil k hraniční hodnotě, avšak nepřekročil ji. Z obrazců FTIR spektrometrie nebyly ani u jednoho vzorku zjištěny žádné odchylky od referenčního vzorku, které by značily nějaké výrazné změny.

Výsledkem práce je podání několika doporučení, která se liší dle znečištění oleje. U mazacího okruhu a tuširovacího lisu byla doporučena filtrace či výměna náplně, z důvodu nadměrného znečištění. S ohledem na množství oleje u mazacího okruhu (3000 l) bude pravděpodobně finančně výhodnější provést filtraci, jenž se zbaví nadměrného znečištění. Dále po přefiltrování je nutné dbát na pravidelné kontroly maziva. U lisu je taktéž problém se znečištěním, avšak má méně náplně a je nutné zvážit, zda se vyplatí filtrace. Další doporučení byla převážně typu častějších kontrol, z důvodu varovných hodnot znečištění mechanickými nečistotami či měkkými kaly.

Celkově nebyla nalezena žádná konkrétní závada či nadměrné opotřebovávání zkoumaných zařízení. Znečištění maziva odpovídá těžkém hutnímu provozu, a také stáří strojů.

Použitá literatura

- [1] VÚHŽ. *Kdo jsme*. Vuhz.cz [online]. [cit. 2020-03-07].
Dostupné z: <https://www.vuhz.cz/o-nas/kdo-jsme>
- [2] EKOSOFTWARE. *Údržba a provozuschopnost*. Ekosoftware.cz [online]. [cit. 2020-04-18].
Dostupné z: <https://www.ekosoftware.cz/udrzba-a-provozuschopnost>
- [3] HELEBRANT, František. *Technická diagnostika a spolehlivost*. Ostrava: VŠB - Technická univerzita Ostrava, 2008, IV, Provoz a údržba strojů. ISBN 978-80-248-1690-6.
- [4] BLATA, Jan a Janusz JURASZEK. *Metody technické diagnostiky: teorie a praxe*. Ostrava: VŠB - Technická univerzita Ostrava, 2013. ISBN 978-80-248-2997-5.
- [5] HELEBRANT, František, Jiří ZIEGLER a Daniela MARASOVÁ. *Technická diagnostika a spolehlivost*. Ostrava: VŠB - Technická univerzita Ostrava, 2001, I, Tribodiagnostika. ISBN 80-7078-883-6.
- [6] Kol. : *Molykote*. Dow Corning GmbH München 1991, 552 s.
- [7] HELEBRANT, František, Ladislav HRABEC a Jan BLATA. *Provoz, diagnostika a údržba strojů*. Ostrava: VŠB – technická univerzita Ostrava, 2013. Tribologie, základní pojmy. ISBN 978-80-248-3028-5
- [8] JANÍK, Josef. *Fyzika tření*. Brno, 2008. Bakalářská práce. Masarykova univerzita, Fakulta pedagogická, Katedra fyziky.
- [9] KRÁLOVÁ, Magda. *Smykové tření*. Techmania.cz. [online]. [cit. 2020-04-20].
Dostupné z: <https://edu.techmania.cz/cs/encyklopedie/fyzika/sila/odporove-sily/smykove-treni>
- [10] KRATINA, Jakub. *Součinitel tření*. E-konstrukter.cz. [online]. 2013. [cit. 2020-04-20].
Dostupné z: <https://e-konstrukter.cz/prakticka-informace/soucinitel-treni>
- [11] KRÁLOVÁ, Magda. *Válivé tření*. Techmania.cz. [online]. [cit. 2020-04-20].
Dostupné z: <https://edu.techmania.cz/cs/encyklopedie/fyzika/sila/odporove-sily/valive-treni>
- [12] KERNS, Jeff. *What's the Difference Between Types of Wear?*. Machinedesign.com. [online]. 2016. [cit. 2020-04-21].
Dostupné z: <https://www.machinedesign.com/materials/article/21831957/whats-the-difference-between-types-of-wear>

- [13] BOHÁČEK, František, Karel DVOŘÁK. *Části a mechanismy strojů II : Hřídele, tribologie, ložiska*. 3.vyd. Brno : PC DIR, 1996. 215 s. ISBN 80-214-0829-4.
- [14] SUCHÁNEK, Jan. *Adhezivní opotřebení*. Tribotechnika.sk. [online]. [cit. 2020-04-21].
Dostupné z: <http://www.tribotechnika.sk/tribotechnika-22010/adhezivni-opotrebeni.html>
- [15] SUCHÁNEK, Jan. *Erozivní opotřebení a volba kovových materiálů v praxi - 1.část*. Tribotechnika.sk. [online]. [cit. 2020-04-21].
Dostupné z: <http://www.tribotechnika.sk/tribotechnika-32010/erozivni-opotrebeni-a-volba-kovovych-materialu-v-praxi-1cast.html>
- [16] POŠTA, Josef. *Opotřebení*. Gsxr.wz.cz. [online]. [cit. 2020-04-21].
Dostupné z: <http://www.gsxr.wz.cz/opotreb.htm>
- [17] CASH, Wes. *What is lubrication?*. Machinerylubrication.com. [online]. [cit. 2020-04-22].
Dostupné z: <https://www.machinerylubrication.com/Read/28766/what-is-lubrication>
- [18] ČAPPO. *Maziva*. Cappel.cz. [online]. 2017. [cit. 2020-04-22].
Dostupné z: <https://www.cappel.cz/info/maziva-c137>
- [19] NEHAL S., Ahmed, Amal M. NASSAR. *Lubrication and lubricants*. Intechopen.com. [online]. 2013. [cit. 2020-04-22].
Dostupné z: <https://www.intechopen.com/books/tribology-fundamentals-and-advancements/lubrication-and-lubricants>
- [20] FLYNT, Joseph. *Types of Lubricants (Liquid, Solid, Gas, and Semi-Solid)*. 3dinsider.com. [online]. 2019. [cit. 2020-04-22].
Dostupné z: <https://3dinsider.com/types-of-lubricants/>
- [21] RADIMĚŘSKÝ, Petr. *Pozor na parafinový olej*. Bio-info.cz. [online]. 2011. [cit. 2020-04-23].
Dostupné z: <http://www.bio-info.cz/zijte-bio/pozor-na-parafinovy-olej>
- [22] FITCH, Bennett. *Understanding the Differences Between Base Oil Formulations*. Machinerylubrication.com. [online]. 2017. [cit. 2020-04-23].
Dostupné z: <https://www.machinerylubrication.com/Read/30730/base-oil-formulations>
- [23] TROUT, Jonathan, Jim FLITCH. *Synthetic Oil: What Consumers Need to Know*. Machinerylubrication.com. [online]. [cit. 2020-04-24].
Dostupné z: <https://www.machinerylubrication.com/synthetic-oil-31800>
- [24] HENDEL, Rabbi Scholom Ber. *What is Vegetable Oil?*. Ok.org. [online]. 2016. [cit. 2020-04-24].
Dostupné z: <https://www.ok.org/kosherspirit/winter-2016/what-is-vegetable-oil/>
- [25] EKOLUBE. *Aditiva do maziv*. Oleje.cz. [online]. [cit. 2020-04-24].
Dostupné z: https://www.oleje.cz/clanek/Aditiva_do_maziv

- [26] NORIA CORPORATION. *Lubricant Additives - A Practical Guide*. Machinerylubrication.com. [online]. [cit. 2020-04-25].
Dostupné z: <https://www.machinerylubrication.com/Read/31107/oil-lubricant-additives>
- [27] HOLUNOVÁ, Renáta. *Newtonovské a nenewtonovské kapaliny*. [online prezentace]. [cit. 2020-04-26]
Dostupné z: <https://slideplayer.cz/slide/2298442/>
- [28] ZÁMOSTNÝ, Petr. *Bezpečnost chemických výrob. Tresen.vscht.cz*. [online]. 2011. [cit. 2020-04-28].
Dostupné z: <http://tresen.vscht.cz/kot/wp-content/uploads/2011-04-Rizika-ho%C5%99lav%C3%BDch-a-v%C3%BDbu%C5%A1n%C3%BDch-1%C3%A1tek-2.pdf>
- [29] VÁCLAVÍČKOVÁ, Ivana. *Voda v oleji*. Tribotechnika.sk. [online]. [cit. 2020-04-28].
Dostupné z: <http://www.tribotechnika.sk/tribotechnika-22011/voda.html>
- [30] SEJKOROVÁ, Marie. *Jaké hodnoty jsou sledovány při tribologické analýze oleje?*. Rostlinnýolej.cz. [online]. [cit. 2020-04-29].
Dostupné z: <https://www.rostlinnyolej.cz/cs/bypassove-filtry/3.html>
- [31] SAJDL, Jan. *Kapková zkouška oleje*. Autolexicon.net. [online]. [cit. 2020-04-29].
Dostupné z: <https://www.autolexicon.net/cs/articles/kapkova-zkouska-oleje/>
- [32] BUREŠ, Pavel, Pavel NĚMEC. *Měření čistoty hydraulických kapalin*. Mmspektrum.com. [online]. 2012. [cit. 2020-04-30].
Dostupné z: <https://www.mmspektrum.com/clanek/mereni-cistoty-hydraulickych-kapalin.html>
- [33] NOVÁČEK, Vladimír, Jan NOVÁK. *Nový přístup ke sledování stavů olejů*. Oleje.cz. [online]. [cit. 2020-05-12].
Dostupné z: <https://www.oleje.cz/clanek/Novy-pristup-ke-sledovani-stavu-oleju>
- [34] SAHIN, Denis. *Atomic Spectroscopy*. Intechopen.com. [online]. 2019. [cit. 2020-05-01].
Dostupné z: <https://www.intechopen.com/books/modern-spectroscopic-techniques-and-applications/atomic-spectroscopy>

- [35] MIHALČOVÁ, Janka, Miroslav RIMÁR. *Ferografická analýza – významná súčasť tribotechnickej diagnostiky*. Engineering.sk. [online]. [cit. 2020-05-01].
Dostupné z: <https://www.engineering.sk/strojarstvo-extra/2554-ferograficka-analyza-vyznamna-sucast-tribotechnickej-diagnostiky>
- [36] BRITANNICA. *Polarography*. Britannica.com. [online]. [cit. 2020-05-01].
Dostupné z: <https://www.britannica.com/science/polarography>

Seznam příloh

Příloha A – Protokol výsledků provedených zkoušek – Válcovna – mazací okruh (odběr č. 1).

Příloha B – Protokol výsledků provedených zkoušek – Válcovna – mazací okruh (odběr č. 2).

Příloha C – Protokol výsledků provedených zkoušek – Válcovna – mazací okruh (odběr č. 3).

Příloha D – Protokol výsledků provedených zkoušek – Válcovna – hydraulický okruh (odběr č. 1).

Příloha E – Protokol výsledků provedených zkoušek – Válcovna – hydraulický okruh (odběr č. 2).

Příloha F – Protokol výsledků provedených zkoušek – Válcovna – hydraulický okruh (odběr č. 3).

Příloha G – Protokol výsledků provedených zkoušek – Válcovna – hydraulický systém krokové pece (odběr č. 1).

Příloha H – Protokol výsledků provedených zkoušek – Válcovna – hydraulický systém krokové pece (odběr č. 2).

Příloha CH – Protokol výsledků provedených zkoušek – Válcovna – hydraulický systém krokové pece (odběr č. 3).

Příloha I – Protokol výsledků provedených zkoušek – Slévárna – hydraulický systém vyklápění indukční pece (odběr č. 1).

Příloha J – Protokol výsledků provedených zkoušek – Slévárna – hydraulický systém vyklápění indukční pece (odběr č. 2).

Příloha K – Protokol výsledků provedených zkoušek – Slévárna – hydraulický systém vyklápění indukční pece (odběr č. 3).

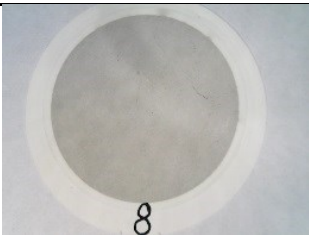
Příloha L – Protokol výsledků provedených zkoušek – Nástrojárna – hydraulický tušírovací lis (odběr č. 1).

Příloha M – Protokol výsledků provedených zkoušek – Nástrojárna – hydraulický tušírovací lis (odběr č. 2).


Příloha N – Protokol výsledků provedených zkoušek – Nástrojárna – hydraulický tušírovací lis (odběr č. 3).

Přílohy


Příloha A – Protokol výsledků provedených zkoušek – Válcovna – mazací okruh (odběr č. 1).

			VZOREK			
			Číslo		8	
			Typ oleje		CLP 220	
			Název			
STROJNÍ ZAŘÍZENÍ			Specifikace DIN		51517/3-CLP	
Název		Válcovna - mazací okruh		Specifikace ISO		6743/3-CKC
Typ-číslo stroje				Specifikace SAE		
výrobní číslo				Jiná specifikace		
Strojní uzel				Místo odběru		Servisní ventil
Množství provozní náplně		4000l		Dodal:		
Doba provozu od posl. výměny				Datum převzetí		13.11.2020
Doba provozu celkem				navážka fitru (ml)		50
V průběhu provozu doplněno				Datum vypracování		
Parametr kvality	Rozměr	Metoda	Požadov. hodnota			Stanovená hodnota
			min.	výstr.	max.	
Kinematická viskozita při 40°C	mm²/s	ČSN EN ISO 3104	198	220	242	211,1
TAN (Č. kyselosti)	mgKOH/g	ČSN ISO 6618		1	1,3	nestanoveno
Obsah vody	hm. %	ČSN EN ISO 12937			0,2	0,001
Mechanické nečistoty	mg/100cm³	ČSN 65 6220		20	50	nestanoveno
Kód čistoty	-	ČSN ISO 4406/99		19/18/15	20/19/16	21/20/15
Kód čistoty	-	NAS 1638		9	10	12
obsah měkkých kalů	-	metodika		15	40	16,6
Prvková analýza ED-XRF				výstr.	max.	hodnota
obsah Fe	ppm (mg/kg)	metodika		10	30	12,7
obsah Cu				15	25	3,5
obsah Cr				12,5	20	10,5
obsah Sn				10	30	<3
obsah Si				20	30	<1
obsah Pb				12,5	20	0,2
Aditiva, degradace					hodnota	
obsah S	ppm (mg/kg)	metodika			15450	
obsah P					239,3	
obsah Na					<97	
obsah Zn					6,2	
obsah Ca					<10	


Příloha B – Protokol výsledků provedených zkoušek – Válcovna – mazací okruh (odběr č. 2).

			VZOREK			
			Číslo		3	
			Typ oleje		CLP 220	
			Název			
STROJNÍ ZAŘÍZENÍ			Specifikace DIN		51517/3-CLP	
Název	Válcovna - mazací okruh		Specifikace ISO		6743/3-CKC	
Typ-číslo stroje			Specifikace SAE			
výrobní číslo			Jiná specifikace			
Strojní uzel			Místo odběru		Servisní ventil	
Množství provozní náplně	4000l		Dodal:			
Doba provozu od posl. výměny			Datum převzetí		11.3.2020	
Doba provozu celkem			navážka fitru (ml)		50	
V průběhu provozu doplněno			Datum vypracování			
Parametr kvality	Rozměr	Metoda	Požadov. hodnota			Stanovená hodnota
			min.	výstr.	max.	
Kinematická viskozita při 40°C	mm²/s	ČSN EN ISO 3104	198	220	242	214,5
TAN (Č. kyselosti)	mgKOH/g	ČSN ISO 6618		1	1,3	nestanoveno
Obsah vody	hm. %	ČSN EN ISO 12937			0,2	0,0033
Mechanické nečistoty	mg/100cm³	ČSN 65 6220		20	50	nestanoveno
Kód čistoty	-	ČSN ISO 4406/99		19/18/15	20/19/16	21/20/16
Kód čistoty	-	NAS 1638		9	10	12
obsah měkkých kalů	-	metodika		15	40	52,1
Prvková analýza ED-XRF				výstr.	max.	hodnota
obsah Fe	ppm (mg/kg)	metodika		10	30	10,8
obsah Cu				15	25	2,4
obsah Cr				12,5	20	6,7
obsah Sn				10	30	<3
obsah Si				20	30	<1
obsah Pb				12,5	20	0,2
Aditiva, degradace						hodnota
obsah S	ppm (mg/kg)	metodika				10950
obsah P						177
obsah Na						<1005
obsah Zn						5
obsah Ca						<10


Příloha C – Protokol výsledků provedených zkoušek – Válcovna – mazací okruh (odběr č. 3).

			VZOREK			
			Číslo		5	
			Typ oleje		CLP 220	
			Název			
STROJNÍ ZAŘÍZENÍ			Specifikace DIN		51517/3-CLP	
Název	Válcovna - mazací okruh		Specifikace ISO		6743/3-CKC	
Typ-číslo stroje			Specifikace SAE			
výrobní číslo			Jiná specifikace			
Strojní uzel			Místo odběru		Servisní ventil	
Množství provozní náplně	4000l		Dodal:			
Doba provozu od posl. výměny			Datum převzetí		6.5.2020	
Doba provozu celkem			navážka fitru (ml)		50	
V průběhu provozu doplněno			Datum vypracování			
Parametr kvality	Rozměr	Metoda	Požadov. hodnota			Stanovená hodnota
			min.	výstr.	max.	
Kinematická viskozita při 40°C	mm²/s	ČSN EN ISO 3104	198	220	242	200,3
TAN (Č. kyselosti)	mgKOH/g	ČSN ISO 6618		1	1,3	nestanoveno
Obsah vody	hm. %	ČSN EN ISO 12937			0,2	0,0032
Mechanické nečistoty	mg/100cm³	ČSN 65 6220		20	50	nestanoveno
Kód čistoty	-	ČSN ISO 4406/99		19/18/15	20/19/16	19/18/13
Kód čistoty	-	NAS 1638		9	10	10
obsah měkkých kalů	-	metodika		15	40	52,1
Prvková analýza ED-XRF				výstr.	max.	hodnota
obsah Fe	ppm (mg/kg)	metodika		10	30	9,9
obsah Cu				15	25	2,2
obsah Cr				12,5	20	5,5
obsah Sn				10	30	<3
obsah Si				20	30	<1
obsah Pb				12,5	20	0,2
Aditiva, degradace						hodnota
obsah S	ppm (mg/kg)	metodika				10250
obsah P						171,9
obsah Na						<1005
obsah Zn						9,8
obsah Ca						<10


Příloha D – Protokol výsledků provedených zkoušek – Válcovna – hydraulický okruh (odběr č. 1).

			VZOREK			
			Číslo		7	
			Typ oleje		HLP 46	
			Název			
STROJNÍ ZAŘÍZENÍ			Specifikace DIN		51524/II-HLP	
Název	Válcovna - hydraulika		Specifikace ISO		6743/IV-HM	
Typ-číslo stroje			Specifikace SAE			
výrobní číslo			Jiná specifikace			
Strojní uzel			Místo odběru		Nalévací otvor	
Množství provozní náplně	3000l		Dodal:			
Doba provozu od posl. výměny			Datum převzetí		13.11.2020	
Doba provozu celkem			navážka fitru (ml)		50	
V průběhu provozu doplněno			Datum vypracování			
Parametr kvality	Rozměr	Metoda	Požadov. hodnota			Stanovená hodnota
			min.	výstr.	max.	
Kinematická viskozita při 40°C	mm²/s	ČSN EN ISO 3104	41,4	46	50,6	43,82
TAN (Č. kyselosti)	mgKOH/g	ČSN ISO 6618		1	1,3	nestanoveno
Obsah vody	hm. %	ČSN EN ISO 12937		0,03	0,05	0,0021
Mechanické nečistoty	mg/100cm³	ČSN 65 6220		20	50	nestanoveno
Kód čistoty	-	ČSN ISO 4406/99		18/17/14	19/18/15	14/13/11
Kód čistoty	-	NAS 1638		9	10	7
obsah měkkých kalů	-	metodika		15	40	1,6
Prvková analýza ED-XRF				výstr.	max.	hodnota
obsah Fe	ppm (mg/kg)	metodika		10	30	<1
obsah Cu				15	25	3,2
obsah Cr				12,5	20	9,9
obsah Sn				10	30	<3
obsah Si				20	30	<1
obsah Pb				12,5	20	<0,2
Aditiva, degradace						hodnota
obsah S	ppm (mg/kg)	metodika				5907
obsah P						349,6
obsah Na						1487
obsah Zn						301
obsah Ca						<10

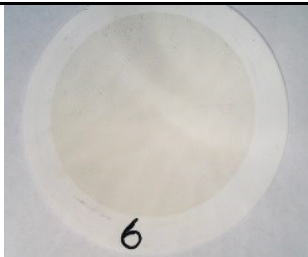
Příloha E – Protokol výsledků provedených zkoušek – Válcovna – hydraulický okruh (odběr č. 2).

			VZOREK			
			Číslo		2	
			Typ oleje		HLP 46	
			Název			
STROJNÍ ZAŘÍZENÍ			Specifikace DIN		51524/II-HLP	
Název		Válcovna - hydraulika		Specifikace ISO		6743/IV-HM
Typ-číslo stroje				Specifikace SAE		
výrobní číslo				Jiná specifikace		
Strojní uzel				Místo odběru		Nalévací otvor
Množství provozní náplně		3000l		Dodal:		
Doba provozu od posl. výměny				Datum převzetí		11.3.2020
Doba provozu celkem				navážka fitru (ml)		50
V průběhu provozu doplněno				Datum vypracování		
Parametr kvality	Rozměr	Metoda	Požadov. hodnota			Stanovená hodnota
			min.	výstr.	max.	
Kinematická viskozita při 40°C	mm²/s	ČSN EN ISO 3104	41,4	46	50,6	48,06
TAN (Č. kyselosti)	mgKOH/g	ČSN ISO 6618		1	1,3	nestanoveno
Obsah vody	hm. %	ČSN EN ISO 12937		0,03	0,05	0,0026
Mechanické nečistoty	mg/100cm³	ČSN 65 6220		20	50	nestanoveno
Kód čistoty	-	ČSN ISO 4406/99		18/17/14	19/18/15	18/17/14
Kód čistoty	-	NAS 1638		9	10	10
obsah měkkých kalů	-	metodika		15	40	9,8
Prvková analýza ED-XRF				výstr.	max.	hodnota
obsah Fe	ppm (mg/kg)	metodika		10	30	<1
obsah Cu				15	25	3,5
obsah Cr				12,5	20	8,9
obsah Sn				10	30	<3
obsah Si				20	30	<1
obsah Pb				12,5	20	0,6
Aditiva, degradace						hodnota
obsah S	ppm (mg/kg)	metodika				4425
obsah P						285,6
obsah Na						1337
obsah Zn						264,5
obsah Ca						<10


Příloha F – Protokol výsledků provedených zkoušek – Válcovna – hydraulický okruh (odběr č. 3).

			VZOREK			
			Číslo		3	
			Typ oleje		HLP 46	
			Název			
STROJNÍ ZAŘÍZENÍ			Specifikace DIN		51524/II-HLP	
Název	Válcovna - hydraulika		Specifikace ISO		6743/IV-HM	
Typ-číslo stroje			Specifkace SAE			
výrobní číslo			Jiná specifikace			
Strojní uzel			Místo odběru		Nalévací otvor	
Množství provozní náplně	3000l		Dodal:			
Doba provozu od posl. výměny			Datum převzetí		6.5.2020	
Doba provozu celkem			navážka fitru (ml)		50	
V průběhu provozu doplněno			Datum vypracování			
Parametr kvality	Rozměr	Metoda	Požadov. hodnota			Stanovená hodnota
			min.	výstr.	max.	
Kinematická viskozita při 40°C	mm²/s	ČSN EN ISO 3104	41,4	46	50,6	43,16
TAN (Č. kyselosti)	mgKOH/g	ČSN ISO 6618		1	1,3	nestanoveno
Obsah vody	hm. %	ČSN EN ISO 12937		0,03	0,05	0,0006
Mechanické nečistoty	mg/100cm³	ČSN 65 6220		20	50	nestanoveno
Kód čistoty	-	ČSN ISO 4406/99		18/17/14	19/18/15	17/16/13
Kód čistoty	-	NAS 1638		9	10	9
obsah měkkých kalů	-	metodika		15	40	10,3
Prvková analýza ED-XRF				výstr.	max.	hodnota
obsah Fe	ppm (mg/kg)	metodika		10	30	<1
obsah Cu				15	25	2,6
obsah Cr				12,5	20	7,2
obsah Sn				10	30	<3
obsah Si				20	30	<1
obsah Pb				12,5	20	0,2
Aditiva, degradace					hodnota	
obsah S	ppm (mg/kg)	metodika			4261	
obsah P					249,9	
obsah Na					1002	
obsah Zn					214,5	
obsah Ca					<10	


Příloha G – Protokol výsledků provedených zkoušek – Válcovna – hydraulický systém
krokové pece (odběr č. 1).

			VZOREK				
			Číslo		6		
			Typ oleje		HLP 46		
			Název				
STROJNÍ ZAŘÍZENÍ			Specifikace DIN		51524/II-HLP		
Název		Válcovna - kroková pec		Specifikace ISO		6743/IV-HM	
Typ-číslo stroje				Specifikace SAE			
výrobní číslo				Jiná specifikace			
Strojní uzel				Místo odběru		Nalévací otvor	
Množství provozní náplně		200l		Dodal:			
Doba provozu od posl. výměny				Datum převzetí		13.11.2020	
Doba provozu celkem				navážka fitru (ml)		50	
V průběhu provozu doplněno				Datum vypracování			
Parametr kvality	Rozměr	Metoda	Požadov. hodnota			Stanovená hodnota	
			min.	výstr.	max.		
Kinematická viskozita při 40°C	mm²/s	ČSN EN ISO 3104	41,4	46	50,6	46,38	
TAN (Č. kyselosti)	mgKOH/g	ČSN ISO 6618		1	1,3	nestanoveno	
Obsah vody	hm. %	ČSN EN ISO 12937		0,03	0,05	0,0012	
Mechanické nečistoty	mg/100cm³	ČSN 65 6220		20	50	nestanoveno	
Kód čistoty	-	ČSN ISO 4406/99		18/17/14	19/18/15	16/15/13	
Kód čistoty	-	NAS 1638		9	10	8	
obsah měkkých kalů	-	metodika		15	40	6,1	
Prvková analýza ED-XRF				výstr.	max.	hodnota	
obsah Fe	ppm (mg/kg)	metodika		10	30	<1	
obsah Cu				15	25	3	
obsah Cr				12,5	20	10,8	
obsah Sn				10	30	<3	
obsah Si				20	30	<1	
obsah Pb				12,5	20	<0,1	
Aditiva, degradace						hodnota	
obsah S	ppm (mg/kg)	metodika				7951	
obsah P						394,9	
obsah Na						1286	
obsah Zn						323,3	
obsah Ca						<10	

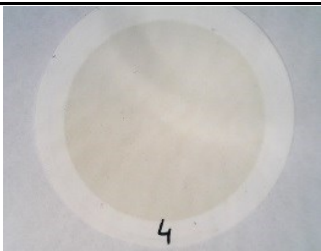
Příloha H – Protokol výsledků provedených zkoušek – Válcovna – hydraulický systém krokové pece (odběr č. 2).

		VZOREK				
		Číslo			3	
		Typ oleje			HLP 46	
		Název				
STROJNÍ ZAŘÍZENÍ				Specifikace DIN		51524/II-HLP
Název		Válcovna - kroková pec		Specifikace ISO		6743/IV-HM
Typ-číslo stroje				Specifikace SAE		
výrobní číslo				Jiná specifikace		
Strojní uzel				Místo odběru		Nalévací otvor
Množství provozní náplně		200l		Dodal:		
Doba provozu od posl. výměny				Datum převzetí		11.3.2020
Doba provozu celkem				navážka fitru (ml)		50
V průběhu provozu doplněno				Datum vypracování		
Parametr kvality	Rozměr	Metoda	Požadov. hodnota			Stanovená hodnota
			min.	výstr.	max.	
Kinematická viskozita při 40°C	mm²/s	ČSN EN ISO 3104	41,4	46	50,6	46,9
TAN (Č. kyselosti)	mgKOH/g	ČSN ISO 6618		1	1,3	nestanoveno
Obsah vody	hm. %	ČSN EN ISO 12937		0,03	0,05	0,0022
Mechanické nečistoty	mg/100cm³	ČSN 65 6220		20	50	nestanoveno
Kód čistoty	-	ČSN ISO 4406/99		18/17/14	19/18/15	18/17/14
Kód čistoty	-	NAS 1638		9	10	10
obsah měkkých kalů	-	metodika		15	40	16,5
Prvková analýza ED-XRF				výstr.	max.	hodnota
obsah Fe	ppm (mg/kg)	metodika		10	30	<1
obsah Cu				15	25	2,1
obsah Cr				12,5	20	6,6
obsah Sn				10	30	<3
obsah Si				20	30	<1
obsah Pb				12,5	20	<1
Aditiva, degradace						hodnota
obsah S	ppm (mg/kg)	metodika				5650
obsah P						269,7
obsah Na						<1005
obsah Zn						215,9
obsah Ca						<10


Příloha CH – Protokol výsledků provedených zkoušek – Válcovna – hydraulický systém krokové pece (odběr č. 3).

			VZOREK			
			Číslo		2	
			Typ oleje		HLP 46	
			Název			
STROJNÍ ZAŘÍZENÍ			Specifikace DIN		51524/II-HLP	
Název	Válcovna - kroková pec		Specifikace ISO		6743/IV-HM	
Typ-číslo stroje			Specifikace SAE			
výrobní číslo			Jiná specifikace			
Strojní uzel			Místo odběru		Nalévací otvor	
Množství provozní náplně	200l		Dodal:			
Doba provozu od posl. výměny			Datum převzetí		6.5.2020	
Doba provozu celkem			navážka fitru (ml)		50	
V průběhu provozu doplněno			Datum vypracování			
Parametr kvality	Rozměr	Metoda	Požadov. hodnota			Stanovená hodnota
			min.	výstr.	max.	
Kinematická viskozita při 40°C	mm²/s	ČSN EN ISO 3104	41,4	46	50,6	47,48
TAN (Č. kyselosti)	mgKOH/g	ČSN ISO 6618		1	1,3	nestanoveno
Obsah vody	hm. %	ČSN EN ISO 12937		0,03	0,05	0,0025
Mechanické nečistoty	mg/100cm³	ČSN 65 6220		20	50	nestanoveno
Kód čistoty	-	ČSN ISO 4406/99		18/17/14	19/18/15	17/16/13
Kód čistoty	-	NAS 1638		9	10	8
obsah měkkých kalů	-	metodika		15	40	12,6
Prvková analýza ED-XRF				výstr.	max.	hodnota
obsah Fe	ppm (mg/kg)	metodika		10	30	<1
obsah Cu				15	25	1,6
obsah Cr				12,5	20	6,4
obsah Sn				10	30	<3
obsah Si				20	30	<1
obsah Pb				12,5	20	<0,1
Aditiva, degradace					hodnota	
obsah S	ppm (mg/kg)	metodika			5640	
obsah P					258,5	
obsah Na					<1005	
obsah Zn					204,3	
obsah Ca					<10	

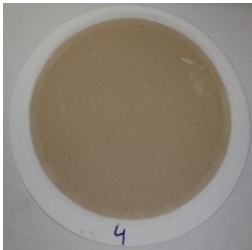
Příloha I – Protokol výsledků provedených zkoušek – Slévárna – hydraulický systém vyklápění indukční pece (odběr č. 1).

			VZOREK			
			Číslo		4	
			Typ oleje		HLP 46	
			Název			
STROJNÍ ZAŘÍZENÍ			Specifikace DIN		51524/II-HLP	
Název		Slévárna - indukční pec ITP 1		Specifikace ISO		6743/IV-HM
Typ-číslo stroje				Specifikace SAE		
výrobní číslo				Jiná specifikace		
Strojní uzel				Místo odběru		Nalévací otvor
Množství provozní náplně		200l		Dodal:		
Doba provozu od posl. výměny				Datum převzetí		13.11.2020
Doba provozu celkem				navážka fitru (ml)		50
V průběhu provozu doplněno				Datum vypracování		
Parametr kvality	Rozměr	Metoda	Požadov. hodnota			Stanovená hodnota
			min.	výstr.	max.	
Kinematická viskozita při 40°C	mm²/s	ČSN EN ISO 3104	41,4	46	50,6	45,91
TAN (Č. kyselosti)	mgKOH/g	ČSN ISO 6618		1	1,3	nestanoveno
Obsah vody	hm. %	ČSN EN ISO 12937		0,03	0,05	0,0032
Mechanické nečistoty	mg/100cm³	ČSN 65 6220		20	50	nestanoveno
Kód čistoty	-	ČSN ISO 4406/99		18/17/14	19/18/15	15/15/12
Kód čistoty	-	NAS 1638		9	10	7
obsah měkkých kalů	-	metodika		15	40	8,2
Prvková analýza ED-XRF				výstr.	max.	hodnota
obsah Fe	ppm (mg/kg)	metodika		10	30	<1
obsah Cu				15	25	3,7
obsah Cr				12,5	20	10,1
obsah Sn				10	30	<3
obsah Si				20	30	<1
obsah Pb				12,5	20	0,4
Aditiva, degradace					hodnota	
obsah S	ppm (mg/kg)	metodika			9228	
obsah P					510,9	
obsah Na					1080	
obsah Zn					418,1	
obsah Ca					<10	

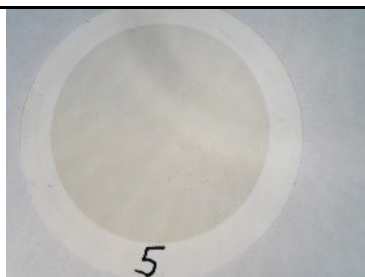
Příloha J – Protokol výsledků provedených zkoušek – Slévárna – hydraulický systém vyklápění indukční pece (odběr č. 2).

			VZOREK			
			Číslo		4	
			Typ oleje		HLP 46	
			Název			
STROJNÍ ZAŘÍZENÍ			Specifikace DIN		51524/II-HLP	
Název	Slévárna - indukční pec ITEP 1		Specifikace ISO		6743/IV-HM	
Typ-číslo stroje			Specifkace SAE			
výrobní číslo			Jiná specifikace			
Strojní uzel			Místo odběru		Nalévací otvor	
Množství provozní náplně	200l		Dodal:			
Doba provozu od posl. výměny			Datum převzetí		11.3.2020	
Doba provozu celkem			navážka fitru (ml)		50	
V průběhu provozu doplněno			Datum vypracování			
Parametr kvality	Rozměr	Metoda	Požadov. hodnota			Stanovená hodnota
			min.	výstr.	max.	
Kinematická viskozita při 40°C	mm²/s	ČSN EN ISO 3104	41,4	46	50,6	44,94
TAN (Č. kyselosti)	mgKOH/g	ČSN ISO 6618		1	1,3	nestanoveno
Obsah vody	hm. %	ČSN EN ISO 12937		0,03	0,05	0,0036
Mechanické nečistoty	mg/100cm³	ČSN 65 6220		20	50	nestanoveno
Kód čistoty	-	ČSN ISO 4406/99		18/17/14	19/18/15	18/17/14
Kód čistoty	-	NAS 1638		9	10	9
obsah měkkých kalů	-	metodika		15	40	25,8
Prvková analýza ED-XRF				výstr.	max.	hodnota
obsah Fe	ppm (mg/kg)	metodika		10	30	<1
obsah Cu				15	25	2,7
obsah Cr				12,5	20	7,9
obsah Sn				10	30	<3
obsah Si				20	30	<1
obsah Pb				12,5	20	0,3
Aditiva, degradace						hodnota
obsah S	ppm (mg/kg)	metodika				6683
obsah P						374,6
obsah Na						<1005
obsah Zn						302,8
obsah Ca						<10


Příloha K – Protokol výsledků provedených zkoušek – Slévárna – hydraulický systém vyklápění indukční pece (odběr č. 3).

			VZOREK			
			Číslo		4	
			Typ oleje		HLP 46	
			Název			
STROJNÍ ZAŘÍZENÍ			Specifikace DIN		51524/II-HLP	
Název	Slévárna - indukční pec ITEP 1		Specifikace ISO		6743/IV-HM	
Typ-číslo stroje			Specifikace SAE			
výrobní číslo			Jiná specifikace			
Strojní uzel			Místo odběru		Nalévací otvor	
Množství provozní náplně	200l		Dodal:			
Doba provozu od posl. výměny			Datum převzetí		6.5.2020	
Doba provozu celkem			navážka fitru (ml)		50	
V průběhu provozu doplněno			Datum vypracování			
Parametr kvality	Rozměr	Metoda	Požadov. hodnota			Stanovená hodnota
			min.	výstr.	max.	
Kinematická viskozita při 40°C	mm²/s	ČSN EN ISO 3104	41,4	46	50,6	45,46
TAN (Č. kyselosti)	mgKOH/g	ČSN ISO 6618		1	1,3	nestanoveno
Obsah vody	hm. %	ČSN EN ISO 12937		0,03	0,05	0,0036
Mechanické nečistoty	mg/100cm³	ČSN 65 6220		20	50	nestanoveno
Kód čistoty	-	ČSN ISO 4406/99		18/17/14	19/18/15	17/16/12
Kód čistoty	-	NAS 1638		9	10	8
obsah měkkých kalů	-	metodika		15	40	39,5
Prvková analýza ED-XRF				výstr.	max.	hodnota
obsah Fe	ppm (mg/kg)	metodika		10	30	<1
obsah Cu				15	25	2,5
obsah Cr				12,5	20	5
obsah Sn				10	30	<3
obsah Si				20	30	<1
obsah Pb				12,5	20	0,2
Aditiva, degradace					hodnota	
obsah S	ppm (mg/kg)	metodika			6041	
obsah P					332,2	
obsah Na					<1005	
obsah Zn					284,6	
obsah Ca					<10	


Příloha L – Protokol výsledků provedených zkoušek – Nástrojárna – hydraulický tuširovací lis (odběr č. 1).

			VZOREK			
			Číslo		5	
			Typ oleje		HLP 46	
			Název			
STROJNÍ ZAŘÍZENÍ			Specifikace DIN		51524/II-HLP	
Název	Nástrojovna - hydraulický tušírovací lis		Specifikace ISO		6743/IV-HM	
Typ-číslo stroje			Specifikace SAE			
výrobní číslo			Jiná specifikace			
Strojní uzel			Místo odběru		Nalévací otvor	
Množství provozní náplně	350l		Dodal:			
Doba provozu od posl. výměny			Datum převzetí		13.11.2020	
Doba provozu celkem			navážka fitru (ml)		50	
V průběhu provozu doplněno			Datum vypracování			
Parametr kvality	Rozměr	Metoda	Požadov. hodnota			Stanovená hodnota
			min.	výstr.	max.	
Kinematická viskozita při 40°C	mm²/s	ČSN EN ISO 3104	41,4	46	50,6	44,35
TAN (Č. kyselosti)	mgKOH/g	ČSN ISO 6618		1	1,3	nestanoveno
Obsah vody	hm. %	ČSN EN ISO 12937		0,03	0,05	0,0012
Mechanické nečistoty	mg/100cm³	ČSN 65 6220		20	50	nestanoveno
Kód čistoty	-	ČSN ISO 4406/99		18/17/14	19/18/15	15/14/12
Kód čistoty	-	NAS 1638		9	10	7
obsah měkkých kalů	-	metodika		15	40	7,2
Prvková analýza ED-XRF				výstr.	max.	hodnota
obsah Fe	ppm (mg/kg)	metodika		10	30	<1
obsah Cu				15	25	4,6
obsah Cr				12,5	20	10,6
obsah Sn				10	30	<3
obsah Si				20	30	<1
obsah Pb				12,5	20	0,6
Aditiva, degradace						hodnota
obsah S	ppm (mg/kg)	metodika				5814
obsah P						555,6
obsah Na						1435
obsah Zn						483,4
obsah Ca						17,8

Příloha M – Protokol výsledků provedených zkoušek – Nástrojárna – hydraulický tuširovací lis (odběr č. 2).

			VZOREK			
			Číslo		1	
			Typ oleje		HLP 46	
			Název			
STROJNÍ ZAŘÍZENÍ			Specifikace DIN		51524/II-HLP	
Název	Nástrojovna - hydraulický tušírovací lis		Specifikace ISO		6743/IV-HM	
Typ-číslo stroje			Specifkace SAE			
výrobní číslo			Jiná specifikace			
Strojní uzel			Místo odběru		Nalévací otvor	
Množství provozní náplně	350l		Dodal:			
Doba provozu od posl. výměny			Datum převzetí		11.3.2020	
Doba provozu celkem			navážka fitru (ml)		50	
V průběhu provozu doplněno			Datum vypracování			
Parametr kvality	Rozměr	Metoda	Požadov. hodnota			Stanovená hodnota
			min.	výstr.	max.	
Kinematická viskozita při 40°C	mm²/s	ČSN EN ISO 3104	41,4	46	50,6	46,4
TAN (Č. kyselosti)	mgKOH/g	ČSN ISO 6618		1	1,3	nestanoveno
Obsah vody	hm. %	ČSN EN ISO 12937		0,03	0,05	0,0018
Mechanické nečistoty	mg/100cm³	ČSN 65 6220		20	50	nestanoveno
Kód čistoty	-	ČSN ISO 4406/99		18/17/14	19/18/15	20/19/17
Kód čistoty	-	NAS 1638		9	10	12
obsah měkkých kalů	-	metodika		15	40	27,1
Prvková analýza ED-XRF				výstr.	max.	hodnota
obsah Fe	ppm (mg/kg)	metodika		10	30	22,7
obsah Cu				15	25	3
obsah Cr				12,5	20	8,1
obsah Sn				10	30	<3
obsah Si				20	30	33,2
obsah Pb				12,5	20	0,6
Aditiva, degradace					hodnota	
obsah S	ppm (mg/kg)	metodika			4251	
obsah P				414,7		
obsah Na				1026		
obsah Zn				362,1		
obsah Ca				18,2		

Příloha N – Protokol výsledků provedených zkoušek – Nástrojárna – hydraulický tuširovací lis (odběr č. 3).

			VZOREK			
			Číslo		1	
			Typ oleje		HLP 46	
			Název			
STROJNÍ ZAŘÍZENÍ			Specifikace DIN		51524/II-HLP	
Název	Nástrojovna - hydraulický tuširovací lis		Specifikace ISO		6743/IV-HM	
Typ-číslo stroje			Specifkace SAE			
výrobní číslo			Jiná specifikace			
Strojní uzel			Místo odběru		Nalévací otvor	
Množství provozní náplně	350l		Dodal:			
Doba provozu od posl. výměny			Datum převzetí		6.5.2020	
Doba provozu celkem			navážka fitru (ml)		50	
V průběhu provozu doplněno			Datum vypracování			
Parametr kvality	Rozměř	Metoda	Požadov. hodnota			Stanovená hodnota
			min.	výstr.	max.	
Kinematická viskozita při 40°C	mm²/s	ČSN EN ISO 3104	41,4	46	50,6	44,22
TAN (Č. kyselosti)	mgKOH/g	ČSN ISO 6618		1	1,3	nestanoveno
Obsah vody	hm. %	ČSN EN ISO 12937		0,03	0,05	0,0008
Mechanické nečistoty	mg/100cm³	ČSN 65 6220		20	50	nestanoveno
Kód čistoty	-	ČSN ISO 4406/99		18/17/14	19/18/15	17/16/15
Kód čistoty	-	NAS 1638		9	10	12
obsah měkkých kalů	-	metodika		15	40	20,5
Prvková analýza ED-XRF				výstr.	max.	hodnota
obsah Fe	ppm (mg/kg)	metodika		10	30	<1
obsah Cu				15	25	3,1
obsah Cr				12,5	20	6,3
obsah Sn				10	30	<3
obsah Si				20	30	<1
obsah Pb				12,5	20	0,6
Aditiva, degradace						hodnota
obsah S	ppm (mg/kg)	metodika				4055
obsah P						388,7
obsah Na						1036
obsah Zn						342,5
obsah Ca						13,2